



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**DISEÑO DEL MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL EN UN PROYECTO  
INMOBILIARIO**

---

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial**

**AUTOR:**

**Edwin Rosendo García Guamán**

**TUTOR:**

**Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.**

**QUITO – ECUADOR**

**2026**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Yo, Edwin Rosendo García Guamán, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “DISEÑO DEL MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL EN UN PROYECTO INMOBILIARIO”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académico divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 25 días del mes de marzo del 2026, firmo conforme:

Autor: Edwin Rosendo García Guamán

Firma:

Número de Cédula: 172115386-2

Dirección: Pichincha, Quito, San Antonio.

Correo Electrónico: [edu\\_garcia19@hotmail.com](mailto:edu_garcia19@hotmail.com)

Teléfono: 0996910218

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO DEL MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL EN UN PROYECTO INMOBILIARIO” presentado por Edwin Rosendo García Guamán, para optar por el Título de Ingeniería Industrial.

CERTIFICO.

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 25, de marzo del 2026

.....

M.Sc. Pablo Elicio Ron Valenzuela

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 25 de marzo de 2026

.....

Edwin Rosendo García Guamán

Ci. 172115386-2

## **APROBACIÓN PAR EVALUADOR**

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el tema: “DISEÑO DEL MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL EN UN PROYECTO INMOBILIARIO” previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 25 de marzo del 2026

.....

M.Sc. Fabián Alberto Sarmiento Ortiz

.....

M.Sc. Blanca Liliana Topón Visarrea

## **DEDICATORIA**

A mi familia, pilar fundamental en cada etapa de esta travesía académica. A mi esposa Natalia, por su paciencia infinita, su fe inquebrantable y su amor incondicional que iluminó los momentos de mayor desafío. A mis hijos Maikel y Aitana, cuyas sonrisas fueron el motor que me impulsó a perseverar y cuyo futuro es la razón de ser de cada esfuerzo. Este logro es también el suyo, fruto del sacrificio compartido y del apoyo que nunca flaqueó.

A mis padres, cuyo apoyo ha sido el cimiento de cada paso en esta travesía académica. Por amparar secundar mis sueños con convicción y convertirse en la fortaleza que me sostuvo en los momentos de duda. Esta meta alcanzada es también fruto de su amor incondicional y su fe permanente en mi potencial

Edwin García

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Tecnológica Indoamérica, por ser el faro que iluminó mi camino hacia el conocimiento, proporcionando una formación integral en excelencia académica, innovación y compromiso social. Agradezco profundamente a cada uno de sus distinguidos docentes, quienes con su sabiduría, dedicación y vocación de servicio se convirtieron en guías indispensables, construyendo bases sólidas de información técnica profesional. Su pasión por la enseñanza y su constante apoyo transformaron cada desafío en una oportunidad de crecimiento.

Agradezco profundamente al M.Sc. Pablo Ron por su invaluable acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Su amistad sincera, su paciencia infinita y su guía experta fueron pilares fundamentales que me sostuvieron en los momentos de mayor desafío. Su capacidad para transformar la complejidad en claridad y su compromiso genuino con mi formación profesional marcaron la diferencia en este proceso académico.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	
Autorización por parte del autor para la consulta de trabajo de titulación.....	I
Aprobación del Tutor .....	II
Declaración de Autenticidad .....	III
Aprobación Par Evaluador .....	IV
Dedicatoria .....	V
Agradecimiento .....	VI
Índice de contenido.....	VII
Índice de tablas.....	IX
Índice de figuras.....	X
Índice de anexos.....	XI
Resumen Ejecutivo.....	XII
Abstract .....	XIII
Capítulo I.....	1
Introducción .....	1
Antecedentes.....	3
Marco Teórico .....	5
Escorrentía Pluvial en Entornos Urbanos .....	5
Impacto de la Urbanización en el Ciclo Hidrológico.....	7
Efectos de Gestión Sostenible de Aguas Lluvias.....	8
Justificación.....	9
Objetivo general .....	14
Objetivos específicos.....	14
Capítulo II .....	15
Ingeniería del Proyecto.....	15
Diagnóstico de la situación actual de la empresa .....	15
Caso 1. Escorrentía en conjunto A. Problemática por inundaciones recurrentes en invierno .....	17
Caso 2. Escorrentía en conjunto B.....	25
Estudio del impacto ambiental .....	36
Gestión de escorrentía en desarrollos urbanos. ....	38
Definición del área de influencia.....	38
Vulnerabilidad del cauce .....	39

Área de estudio .....	41
Modelo operativo.....	42
Capítulo III .....	47
Presentación de la propuesta.....	47
Mejora de Escorrentía en Proyecto Inmobiliario.....	48
Antecedentes .....	48
Tipología de Vivienda .....	49
Componentes de Implantación.....	51
Retiros Permitidos.....	52
Drenaje Pluvial Sostenible.....	53
Cálculo de Intensidad de Precipitación.....	54
Cálculo de Escorrentía Superficial,.....	56
Cálculo de Volumen de Agua Por Retener.....	58
Diseño de tanque de retención.....	61
Especificaciones constructivas.....	63
Diseño de Rebosadero de Tanque y Entrega al Afluente .....	65
Diseño Para Riego de Áreas Verdes .....	65
Selección de Equipo de Bombeo .....	67
Planos de sistema SUDS.....	70
Cronograma de implementación de la propuesta.....	77
Análisis de costos .....	79
Análisis económico financiero VAN y TIR del sistema SUDS en Lumbisí.....	81
Análisis financiero estricto con flujo operativos directos.....	82
Análisis con valorización inmobiliaria como beneficio directo. ....	83
Análisis de sensibilidad.....	84
Resumen de resultado financiero .....	85
Relación Costo - Beneficio .....	85
Distribución de costos por fase .....	86
Grafica de la curva S.....	87
Capítulo iv.....	90
Conclusiones Y Recomendaciones .....	90
Conclusiones:.....	90
Recomendaciones: .....	93
Referencias .....	94
Anexos .....	i

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Coeficiente de escorrentía.....	19
<b>Tabla 2</b> Datos de área de conjunto A .....	20
<b>Tabla 3</b> Intensidad de lluvia según INAMHI .....	21
<b>Tabla 4</b> Concentración de microorganismos en aguas de escorrentía .....	24
<b>Tabla 5</b> Cálculo de coeficiente de escorrentía.....	26
<b>Tabla 6</b> Intensidad de lluvia según INAMHI Caso B.....	27
<b>Tabla 7</b> Estimación de arrastre de sedimentos caso 1.....	28
<b>Tabla 8</b> Fuente probable de contaminación bacteriana en conjunto B.....	30
<b>Tabla 9</b> Matriz de Conesa Caso A.....	34
<b>Tabla 10</b> Matriz de Conesa Caso B .....	35
<b>Tabla 11</b> Aspectos de estudio.....	36
<b>Tabla 12</b> Norma aplicable .....	37
<b>Tabla 13</b> Datos de quebrada receptora .....	39
<b>Tabla 14</b> Clasificación de edificaciones .....	50
<b>Tabla 15</b> Datos Pluvióométricos .....	55
<b>Tabla 16</b> Datos de proyecto inmobiliario.....	56
<b>Tabla 17</b> Balance hídrico final del evento (Tr= 10 años) .....	60
<b>Tabla 18</b> Cumplimiento de normativas aplicando normativa .....	60
<b>Tabla 19</b> Especificaciones de equipos seleccionados.....	67
<b>Tabla 20</b> Mejora mediante implementos SUDS.....	75
<b>Tabla 21</b> Matriz de cronograma de implementación de propuesta .....	78
<b>Tabla 22</b> Inversión de tanque de retención.....	79
<b>Tabla 23</b> Beneficios económicos anuales .....	80
<b>Tabla 24</b> Parámetros de cálculo.....	81
<b>Tabla 25</b> Flujo de caja neto anual.....	82
<b>Tabla 26</b> Análisis ampliada con valorización inmobiliaria.....	83
<b>Tabla 27</b> Análisis de cuantificación de escenario óptimo .....	84
<b>Tabla 28</b> Resultado financiero.....	85
<b>Tabla 29</b> Costos por fases.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cambios de escorrentía pluvial .....	5
<b>Figura 2</b> Escorrentía Pluvial .....	6
<b>Figura 3</b> Ubicación de proyecto inmobiliario.....	16
<b>Figura 4</b> Implantación de proyecto inmobiliario .....	16
<b>Figura 5</b> Inundación por escorrentía .....	18
<b>Figura 6</b> Bombas existentes en sitio .....	22
<b>Figura 7</b> Inundación por exceso de escorrentía.....	23
<b>Figura 8</b> Inundación por aguas lluvias .....	31
<b>Figura 9</b> Inundación por aguas lluvias .....	37
<b>Figura 10</b> Retiros permitidos.....	52
<b>Figura 11</b> Ubicación de tanque de retención en proyecto inmobiliario .....	62
<b>Figura 12</b> Diseño de tanque de retención .....	64
<b>Figura 13</b> Detalles de tanque de retención con rejilla de sedimentación .....	64
<b>Figura 14</b> Detalle de instalación de bombas en paralelo .....	69
<b>Figura 15</b> Planos de implantación de proyecto inmobiliario.....	70
<b>Figura 16</b> Plano de separación de aguas residuales y aguas lluvias en casas tipo.....	71
<b>Figura 17</b> Plano de zona de franja de protección de quebrada.....	71
<b>Figura 18</b> Plano de implantación topográfica del proyecto .....	72
<b>Figura 19</b> Simbología de planos de sistemas SUDS.....	72
<b>Figura 20</b> Plano de implementación de sistemas SUDS .....	73
<b>Figura 21</b> Detalle de instalación de tuberías de sistemas SUDS.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1</i> Proceso de certificación EDGE y LEED.....	97i
<i>Anexo 2</i> Planos de sistema de riego propuesto en proyecto.....	98i
<i>Anexo 3</i> Plano de estructura de disipación para entrega de agua lluvia a quebrada.....	99i
<i>Anexo 4</i> Aprobación de abstract departamento de idiomas .....	100i

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

## FACULTAD DE INGENIERÍAS

### CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TEMA:** DISEÑO DEL MENEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL EN UN PROYECTO INMOBILIARIO

**AUTOR:** Edwin Rosendo García Guamán

**TUTOR:** M.Sc. Pablo Elicio Ron Valenzuela

#### RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio de titulación aborda la problemática crítica generada por la escorrentía pluvial en el sector de Lumbisí, ubicado en la ciudad de Quito, donde el crecimiento urbano acelerado ha incrementado significativamente las superficies impermeables, alterando el ciclo hidrológico natural y generando impactos ambientales, sanitarios e infraestructurales adversos. Ante este escenario, se desarrolló un modelo operativo integral de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para un proyecto inmobiliario, basado en cuatro componentes interdependientes: caracterización hidro territorial a través de datos pluviométricos de la estación INAMHI "La Tola", diseño de infraestructura verde, cuantificación del riesgo biológico existentes en sólidos suspendidos totales, y un sistema de reutilización de aguas lluvia con un tanque de retención de 89.31m<sup>3</sup>, para riego de 3566m<sup>2</sup> de áreas verdes, que permitirá reducir el caudal pico de 202 a 161 L/s disminuyendo el volumen de descarga a quebrada receptora en un 34.2%, remover el 78% de sólidos suspendidos y reducir la carga patógena en un 99%, logrando un índice de auto eficiencia del 137% anual mediante la reutilización de agua pluvial para riego. Este modelo establece un estándar replicable para proyectos futuros, demostrando que la sostenibilidad técnica y la rentabilidad estratégica.

**DESCRIPTORES:** drenaje sostenible, escorrentía pluvial, gestión hídrica, infraestructura verde, riesgo sanitario, SUDS, reutilización de agua.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**THEME:** DESIGN PROPOSAL FOR IMPROVING RAINWATER RUNOFF IN A REAL ESTATE PROJECT

**AUTHOR:** Edwin Rosendo García Guamán

**TUTOR:** M.Sc. Pablo Elicio Ron Valenzuela

**ABSTRACT**

This degree study addresses the critical problem caused by rainwater runoff in the Lumbisí sector of Quito, where accelerated urban growth has significantly increased impervious surfaces, thereby disrupting the natural hydrological cycle and generating adverse environmental, health, and infrastructure impacts. In response to this scenario, a comprehensive operational model of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) was developed for a real estate project, based on four interdependent components: hydro-territorial characterization using pluviometric data from the INAMHI “La Tola”; green infrastructure design; quantification of the biological risk posed by total suspended solids; and a rainwater reuse system with an 89.31 m<sup>3</sup> retention tank for irrigating 3,566 m<sup>2</sup> of green areas, which will reduce the peak flow from 202 to 161 L/ s, decreasing the discharge volume to the receiving stream by 34.2%, removing 78% of suspended solids, and reducing the pathogen load by 99%, achieving an annual self-efficiency index of 137% through the reuse of rainwater for irrigation. This model establishes a replicable standard for future projects, demonstrating both technical sustainability and strategic profitability

**KEYWORDS:** green infrastructure, health risk, stormwater runoff, SUDS, sustainable drainage, water management, water reuse.

*Anexo 4*

Aprobación de abstract departamento de idiomas

## **Capítulo I**

### **Introducción**

La escorrentía pluvial genera un problema latente en muchas partes del mundo, sobre todo en áreas urbanas en las cuales el crecimiento acelerado reemplaza los paisajes naturales con construcciones que reducen la permeabilidad natural y el aumento en la complejidad de la gestión de las aguas pluviales, según la ONU- Agua y la UNESCO, en los países más ricos, el 30% de aguas residuales no se tratan y en los países más pobres esta proporción sobrepasa el 92%. Por término medio, en todo el mundo, más del 80% de las aguas que expulsan las zonas urbanas e industriales se devuelven al medio con toda su carga contaminante (Garriga, 2021). Esto genera una afectación de afluentes de agua generando una consecuencia grave en la sostenibilidad a nivel mundial para el 2030.

En las últimas décadas después del proceso de industrialización se incrementó el sector urbano de manera acelerada, por lo que se ha generado una creciente interacción entre el ser humano y el ciclo hidrológico, en el cual existe un uso exponencial del agua para las diversas actividades en las urbes desde la doméstica hasta el ámbito industrial, adicionalmente la creación de superficies impermeables artificiales como vías, da lugar a la generación de altos volúmenes de aguas residuales entre aguas grises y aguas lluvias, para los cuales se ha creado un sistema de drenaje urbano que permita su efectiva evacuación, su implementación a deteriorado los cuerpos de agua receptoras afectando su calidad y a su vez puede generar mayores probabilidades de inundación. Debido a esto, han surgido nuevas iniciativas que buscan generar el control en la calidad y cantidad del agua drenada que llegan a los cuerpos de agua.

Para mitigar de manera paulatina este acontecimiento se buscan nuevas soluciones que se pueden abordar como los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), en los cuales se emplean diferentes tipos de distribuciones que permiten tener un tratamiento, reducción o

retención temporal del agua drenada de la escorrentía superficial, entre algunos métodos están la infiltración, filtración, evapotranspiración retención y estancamiento de agua fluvial, que permita tener reducciones significativas del caudal pico y volúmenes de escorrentía sin la necesidad de acudir a mecanismos de infraestructura de alta envergadura, por lo que han logrado emplearse en gran medida en países como Australia, Canadá, Estados Unidos, el Reino Unido, la Unión Europea y Chile (CIIA., 2015). En el caso de localidades con alta densidad la factibilidad de SUDS se ve restringida a cierto tipo de estructuras, como techos verdes, alcorques inundables, cunetas verdes, zanjas de infiltración, que son más fáciles de implementar en zonas reducidas. Por otro lado, también existe un interés de aplicar alternativas que permitan obtener un amortiguamiento de grandes volúmenes de agua de forma directa y controlada, como tanques de tormenta subterráneos y de alta capacidad de almacenamiento, que tiene una mayor intervención a nivel de infraestructura, prometen una mejor resiliencia del sistema en caso de eventos de lluvia de alta magnitud.

En la ciudad de Quito se ha transformado significativamente el uso del suelo, con un continuo creciente y desarrollo urbano, en el cual inicialmente se ha realizado la construcción de sistemas de drenaje combinado entre el sistema pluvial y sanitario, en donde el aumento de intensidad de la lluvia a generado desbordes del sistema, inundaciones, y una gran colisión de este sistema, que ha afectado gravemente a la urbe y fuentes de entrega de agua como quebradas que han ido cambiando de forma peligrosa su cauce natural, provocando deslizamientos y un riesgo latente a los moradores aledaños a las quebradas y sus afluentes. Ante este escenario, se hace imperativo replantear los diseños tradicionales de drenaje pluvial hacia enfoques más sostenibles, basados en la Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (GSAP) o en soluciones basadas en la naturaleza, que controlen los caudales de escorrentía. Sin embargo, en la práctica, la implementación de estos enfoques en proyectos inmobiliarios sigue siendo limitada, fragmentada o meramente simbólica. Muchos desarrollos cumplen con requisitos mínimos de

normativa, pero no adoptaron un diseño integral que articule aspectos hidrológicos, ecológicos, arquitectónicos y de gestión del riesgo desde las primeras fases del proyecto. Esta brecha representa una oportunidad crítica para la investigación y la innovación en el ámbito del desarrollo urbano sostenible.

El presente estudio propone un diseño integral para el manejo de la escorrentía pluvial en un proyecto inmobiliario ubicado en el sector de Lumbisí, al Oriente de la ciudad de Quito. Ante el crecimiento urbano acelerado, junto a una demanda de servicios hídricos que sobrepasa la capacidad de planificación y provisión municipal, coaccionó al municipio a adoptar tempranamente un sistema de alcantarillado mixto (aguas lluvias y aguas servidas). Esta decisión, sumada a la falta de visión a largo plazo combinado con factores antrópicos y ambientales en los causes, da como resultado una presión hídrica extrema.

### **Antecedentes**

El crecimiento acelerado de los espacios urbanos ha impulsado la expansión inmobiliaria y la urbanización descontrolada ha generado transformaciones profundas en el ciclo hidrológico natural, especialmente en lo que respecta al manejo de las aguas pluviales. La impermeabilización del suelo provocado por la construcción de viviendas, vías, estacionamientos y otras infraestructuras, reduce considerablemente la capacidad de infiltración del agua al suelo natural, incrementando de manera abrupta el volumen, velocidad y frecuencia de la escorrentía superficial. Este fenómeno no solo sobrecarga los sistemas de drenaje convencional, si no también incrementa el riesgo de inundaciones, erosión, contaminación de cuerpos de agua y pérdida de biodiversidad (Fletcher S. H., 2015)

En este contexto, los proyectos inmobiliarios especialmente aquellos desarrollados en zonas periféricas o laderas suelen carecer de estrategias integrales para la gestión sostenible del agua lluvia. Tradicionalmente, el enfoque ha sido reactivo y centrado en la evacuación rápida del agua mediante redes de alcantarillado, sin considerar su potencial como recurso ni los

impactos ambientales asociados a su manejo inadecuado (Feng, 2020). Esta lógica ha demostrado ser insuficiente frente a los desafíos del cambio climático, que intensifican los eventos de precipitación extrema y exponen a las ciudades a mayores vulnerabilidades hídricas. Ante esta problemática, ha surgido enfoques alternativos basados en la gestión sostenible del drenaje urbano (SUDS, por sus siglas en inglés) y las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), que promueven la retención, infiltración, almacenamiento y reutilización del agua lluvia en el lugar de origen. Estas estrategias “como pavimentos permeables, techos verdes, zanjas de infiltración, jardines de lluvia y humedales construidos” no solo mitigan los riesgos asociados a la escorrentía, sino también aportan beneficios poco sistemáticos, estéticos y sociales ((EPA), 2022) (ONU-Habitat, 2021)

A nivel normativo, varios países y ciudades han incorporado estos principios en sus políticas urbanas. Por ejemplo, en Quito, la Sentencia Constitucional N 2167-21-EP/22 (Ecuador C. C., 2022) demostró la obligatoriedad de implementar ordenanzas “verde – azul” que integran la gestión del agua y la protección de cuencas en el desarrollo urbano. Asimismo, el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PMOT) y el Plan de Gestión de Riesgos del Distrito Metropolitano de Quito reconoce la necesidad de incorporar medidas de drenaje sostenible en nuevos desarrollos inmobiliarios, especialmente en zonas críticas por su pendiente, uso del suelo o proximidad a cuerpos de agua. En este contexto, el presente trabajo de titulación propone un diseño técnico de mejoramiento del sistema de escorrentía pluvial para un proyecto inmobiliario específico en el sector de Lumbisí, integrando criterios de sostenibilidad, normativa ambiental vigente y buenas prácticas de ingeniería. La propuesta busca no solo mitigar los impactos asociados a la urbanización, sino también contribuir a la implementación de políticas metropolitanas como la ordenanza “verde – azul”, impulsada por la Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, alineada con los mandatos constitucionales y de jurisprudencia en materia ambiental. Así, este estudio pretende

servir como modelo replicable para futuros desarrollos urbanos en zonas con condiciones hidrológicas y topográficas similares, reforzando la necesidad de integrar la planificación inmobiliaria con la gestión responsable del agua en entornos vulnerables.

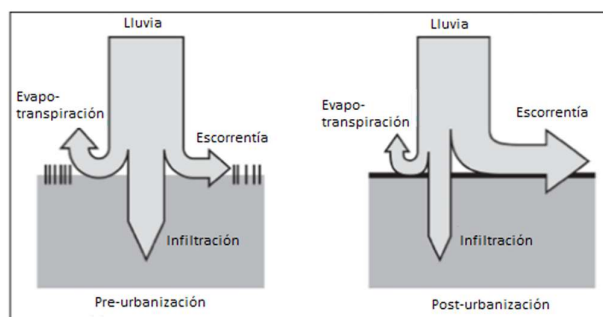
## Marco Teórico

### Escorrentía Pluvial en Entornos Urbanos

La escorrentía pluvial o escorrentía superficial se define como el flujo de agua que se genera cuando la precipitación no puede infiltrarse en el suelo y en cambio, discurre sobre la superficie del terreno hacia puntos de descarga natural y artificial. En entornos urbanos, y la presencia de superficies impermeables que se van generando como techos, pavimentos y concreto en vías y plazas que implican una impermeabilización significativa, incrementa significativamente el volumen, la velocidad y la concentración de esta escorrentía (Fletcher S. H., 2015). El desarrollo urbano altera el ciclo hidrológico natural, aumentando el riesgo de inundaciones, erosiones de cauces y deterioro de la calidad del agua en cuerpos receptores. Por lo que, en este contexto, el diseño tradicional de sistemas de drenaje urbano, orientado única y exclusivamente a evacuar rápidamente el agua de lluvia ha demostrado ser insuficiente ante los retos del cambio climático y la urbanización acelerada.

### Figura 1

#### *Cambios de escorrentía pluvial*



Nota. Se evidencia el cambio de la escorrentía en el ciclo hidrológico tras tener un cambio significativo en la impermeabilización del suelo. (Butler, 2011)

La escorrentía pluvial es el excedente de agua lluvia y que fluye sobre la superficie del terreno hasta alcanzar cuerpos receptores naturales como ríos, quebradas, lagos, o sistemas de drenaje artificial como alcantarillados, canales o colectores. En condiciones naturales una parte significativa de la precipitación se infiltra, recargando acuíferos, mientras que otra se evapotranspira o escurre lentamente, manteniendo el equilibrio hidrológico (Maidment, 1993). Sin embargo, en los entornos urbanos la transformación del paisaje mediante la construcción de superficies impermeables altera radicalmente este equilibrio. Estudios realizados estiman que, en áreas altamente urbanizadas, hasta el 55% de la precipitación se puede convertir en escorrentía, frente a menos del 10% en ecosistemas naturales (Fletcher S. H., 2015). Por lo que esta modificación incrementa no solo el volumen y la velocidad del flujo superficial, sino también su carga contaminante, al arrastrar sedimentos, hidrocarburos, metales pesados, nutrientes y residuos sólidos (Novotny, 2003). En Quito, la urbanización progresiva y frecuentemente desordenada ha dado lugar a una alta proporción de superficies impermeables que alteran el ciclo hidrológico natural. Como consecuencia, se incrementa el pico del caudal, la velocidad de escurrimiento y la concentración de contaminantes en la escorrentía pluvial, superando en muchos casos la capacidad del sistema de drenaje urbano y aumentando la vulnerabilidad frente a eventos de lluvias intensas.

## **Figura 2**

### *Escorrentía Pluvial*



Nota. Se muestra escorrentías no canalizadas y a miembros de la policía que ayudan a los vecinos de la Gasca, tras el aluvión. Quito, tomado de Fuente diario Primicias 2 de abril de 2024 Policía Nacional”

El enfoque convencional de drenaje urbano que se encuentra centrado en la rápida evacuación del agua mediante redes de alcantarillado ha demostrado ser insuficiente frente a los desafíos del siglo XXI. Por un lado, la sobrecarga de los sistemas de drenaje durante eventos extremos, generando inundaciones urbanas y por otro lado la interrupción de procesos ecológicos esenciales, como la recarga de acuíferos y la conectividad hidrológica entre cuencas, contribuye a la degradación de los ecosistemas acuáticos (Fletcher BR, 2022). La impermeabilización del suelo es uno de los cambios más significativos inducidos por el desarrollo urbano, con consecuencias directas sobre el ciclo hidrológico, la biodiversidad y la estabilidad paisajística, en zonas con accidentes geográficos relevantes como Lumbisí en el cual predominan pendientes que van de moderadas a fuertes, la eliminación de cobertura vegetal y la compactación del suelo reduce significativamente la capacidad de infiltración favoreciendo la generación de escorrentía concentrada y acelerada. La gestión eficiente de la escorrentía pluvial no solo es la evacuación del agua, sino también su retención, infiltración, reutilización y tratamiento, y los principios fundamentales del enfoque de drenaje urbano sostenible. En entornos urbanos como los de Quito, la escorrentía adquiere características particulares debido a la impermeabilización de superficies y la modificación de patrones naturales de drenaje.

### **Impacto de la Urbanización en el Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico en áreas urbanas difiere significativamente del ciclo natural debido a la intervención humana. La urbanización altera los procesos de infiltración, evapotranspiración y escorrentía, llegando así a incrementar los volúmenes y velocidad del agua superficial. Según (Butler, 2011), los desarrollos inmobiliarios pueden aumentar el volumen

de escorrentía entre un 200% y 400% en comparación con áreas no urbanizadas, lo que representa un desafío significativo para gestión hídrica urbana.

La urbanización transforma drásticamente el equilibrio natural y ambiental provocando mayor frecuencia e intensidad de inundaciones urbanas, disminución de la recarga de acuíferos, aumento de la contaminación de cuerpos receptores por arrastre de sedimentos, aceites, metales pesados y otros contaminantes urbanos (Fletcher S. H., 2015), en este contexto el diseño de proyectos inmobiliarios debe incorporar estrategias de manejo sostenible de aguas lluvias que mitiguen estos impactos y promuevan la resiliencia urbana.

### **Efectos de Gestión Sostenible de Aguas Lluvias**

Los efectos derivados del manejo inadecuado del agua que se vierte en los cauces naturales, así como la presencia de asentamientos humanos en zonas determinadas de riesgo, dan lugar a una acción extraordinaria de protección interpuesta por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y otras entidades, los mismos que dan una acción que culminó en la Sentencia N 2167-21-EP/22, emitida por la Corte Constitucional el 19 de enero de 2022, En el caso N 2167-21-EP. En la sentencia mencionada además de ordenar medidas de corto y mediano plazo que estarán a cargo de diversas instituciones, la Corte dispuso, como parte de la reparación integral, la elaboración de un marco normativo específico para establecer los principios y reglas necesarias para revertir la situación de degradación ambiental “derechos de la naturaleza y el agua” para promover un manejo responsable de la transformación y consolidación del suelo en el Distrito Metropolitano, asegurando la menor afectación posible al medio ambiente circundante.

El suelo es denominado como recurso natural renovable y este puede obtener una ocupación permitida por la normativa urbanística vigente que priorizará la transición progresiva hacia sistemas productivos sostenibles, agroecológicos y de manejo orgánico. Esta transición deberá promover el incremento de la agrobiodiversidad, la conservación de los remanentes naturales

como corredores ecológicos, la protección de ríos, quebradas y causes de agua, así como la prevención de la contaminación hídrica. La planificación y gestión de este recurso corresponderá a la entidad responsable del desarrollo productivo económico, en coordinación con la entidad de ordenamiento territorial y la autoridad ambiental distrital. Con el fin de promover el desarrollo de técnicas coordinadas en materia de gestión urbana, agua potable, saneamiento, prevención y mitigación de riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos y movimientos en masa, con el fin de reducir y controlar el crecimiento exponencial urbano.

En marco a lo conforme y dispuesto en la normativa local del Sistema Metropolitano de Gestión de Riesgos, la planificación de proyectos que se encuentren en la urbe debe incorporar acciones orientadas a la reducción del riesgo de desastres, asimismo estarán obligadas a ejecutar remediaciones necesarias cuando sus intervenciones en el territorio generen afecciones o daños a terceros, respaldadas mediante estudios técnicos integrales. La reducción de riesgos de desastres identificados deberá priorizar la recuperación del entorno a su condición natural, mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales. En todos los casos en que sea técnicamente viable, se dará prioridad a soluciones basadas en la naturaleza, de lo contrario se aplicaran otras medidas debidamente sustentadas desde el punto de vista técnico.

En los suelos que se clasifican como urbanos, los sistemas de drenaje de calles y espacios públicos deberán adaptarse de forma progresiva y priorizada, con el fin de fortalecer la gestión de la escorrentía en su origen. En las obras públicas municipales se deben implementar soluciones basadas en la naturaleza, conforme a la norma técnica que se desarrolla, estos sistemas deberán promover la infiltración de aguas lluvias, la permeabilidad del suelo, la atenuación del volumen de escorrentía y la absorción eficiente del agua en el entorno inmediato.

### **Justificación**

La **importancia** de este trabajo investigativo radica en su capacidad para aportar un diseño integral y sostenible que permita mejorar la gestión eficiente de escorrentía en proyectos

inmobiliarios de la zona, contribuyendo a la mitigación de dichos impactos, por lo que los aportes generan una propuesta que avalúa y garantiza incorporar principios de optimización de recursos con un análisis del ciclo de precipitaciones con la finalidad de realizar una buena gestión de riesgos ambientales y diseños para un mejor sostenibilidad basados en estudios iniciales de la planificación y ejecución de desarrollos urbanos resilientes lo cual permita no solo mitigar los impactos negativos asociados como inundaciones, erosión, impacto ambiental y pérdida de biodiversidad, sino también transformar la escorrentía en un recurso aprovechable, mediante estrategias como implementación de infraestructura verde, infiltración controlada, recolección y cause de aguas pluviales, con el fin de obtener alternativas técnicas y operativas, considerando criterios económicos, ambientales y sociales, tratando de maximizar el valor agregado en sistemas de servicio con una propuesta técnica viable y replicable, que puedan ser adoptados por profesionales del sector inmobiliario, autoridades locales, y demás garantizando los sostenibilidad ambiental, hídrica de sus proyectos cumpliendo con normativas vigentes.

El **impacto** basado en la optimización de sistemas de drenaje SUDS, permite abordar el manejo de la escorrentía como un componente crítico del sistema de desarrollo urbano tratando de minimizar el impacto ambiental y la sostenibilidad del medio ambiente y la calidad de vida, con un impacto económico y de eficiencia operativa en la cual al evitar una degradación del sector y sus condiciones hidrológicas se promueve una expansión urbana sostenible, el estudio permite al proyecto poder cumplir con el Plan de Gestión del Riesgo del DMQ y normativas ambientales nacionales entre ellos Lesy de Recursos Hídricos, Ley de Ordenanza Territorial, las cuales van a tener una incidencia en el impacto ambiental que va a permitir tener una reducción del volumen y la velocidad de la escorrentía superficial, disminuyendo los riesgos ligados que permitan adquirir una protección de los ecosistemas locales y generando un impacto económico con un largo ciclo de vida del proyecto, que genere espacios de calidad mediante la integración de estructura verde y diseños sostenibles, integrando metodologías sistemáticas basadas en

diseños para la mitigación, intervención que transforme un desarrollo inmobiliario convencional, su impacto se proyecta en el entorno natural, la economía del proyecto, la calidad de vida de las personas, tiene un impacto transformador que convierte un desafío ambiental en una oportunidad de diseño sistemático, eficiencia económica y responsabilidad social con el desarrollo urbano.

La **importancia** de este estudio radica en su capacidad para redefinir el enfoque tradicional del desarrollo inmobiliario, integrando de manera sistemática y proactiva de la gestión sostenible de la escorrentía superficial como un componente esencial del diseño, planificación y operación del sistema constructivo. Esto no se limita a resolver un problema hidrológico localizado, sino que propone una transformación sistemática del modo en que se conciben, evalúa y ejecuta los proyectos urbanos en zonas de expansión crítica, la optimización de recursos, la eficiencia de procesos y la sostenibilidad de sistemas complejos, aporta herramientas metodológicas únicas para abordar la escorrentía no como residuo a evacuar, sino como un flujo estratégico dentro del ciclo de vida del proyecto. Esto implica la aplicación de principios, gestión integrada del riesgo y la evaluación de alternativas, que permite equilibrar dimensiones técnicas, económicas, sociales y ecológicas en la toma de decisiones. El estudio de la escorrentía superficial está más asociado a disciplinas como la ingeniería civil o industrial, pero tiene relevancia significativa en el ámbito de la ingeniería industrial sobre todo cuando se aborda desde una perspectiva de sostenibilidad, gestión de recursos, optimización de procesos y diseño de sistemas eficientes, como la cuantificación de pérdidas de agua pluvial que se podría recolectar y reutilizar, en base al diseño de sistemas de captación y reutilización que reduzcan la demanda de agua de riego en áreas verdes comunales o de las unidades de vivienda, todo esto basado en el diseño de sistemas modelados de flujo de agua, y un análisis de ciclo de vida en el cual se incorpora los impactos ambientales asociados a la mala gestión de aguas pluviales, tratando de minimizar costos mediante diseños eficientes, evaluar la rentabilidad de soluciones basadas en infraestructura

verde, utilizando un análisis de costo beneficio. Mediante la mitigación de un impacto ambiental trazando protocolos de manejo de escorrentía, indicadores del manejo de agua contribuyendo a resolver los desafíos urbano-ambientales.

La propuesta no solo aporta soluciones concretas y adaptadas a las condiciones particulares de Lumbisí, sino que también establece su utilidad técnica hidrológica que se traduce en un valor aplicado a organizaciones productivas, la **utilidad** se presenta en la optimización de sistemas complejos que permite a urbanistas, constructores o gestores de vivienda evaluar distintas alternativas de manejo de aguas lluvias con criterios cuantificables, dejando claros los costos, eficiencia, impacto ambiental, mantenimiento, entre otros, adicionalmente se puede obtener una reducción de costos operativos y de infraestructura al identificar puntos críticos donde se generen sobrecostos por inundaciones que presenten daños a la infraestructura y proponer soluciones que minimicen gastos a largo plazo, como sistemas de recolección de aguas lluvias que sustituyan el uso de agua potable para el riego de áreas verdes, esto contribuye a la sostenibilidad empresarial en base al cumplimiento de normativas al cumplir con normativas ambientales como la normativa ISO 14001, utilizando herramientas prácticas para cumplir con dichos estándares, integrando indicadores de desempeño en el diseño del proyecto, esto permite conseguir una optimización del uso de agua como recurso estratégico al ser esta un recurso valioso y limitado, se puede prevenir los riesgos y mejora de la resiliencia comunitaria que se presentan como las inundaciones que se dan por una mala gestión de escorrentía y esto afecta a la calidad de vida y generan pérdidas económicas, con esta propuesta se quiere mitigar y mejorar la resiliencia en entornos habitacionales frente al cambio climático, adquiriendo en base a la utilidad de este estudio la transformación de un problema ambiental en una oportunidad de mejora sistemática, utilizando herramientas de optimización, análisis de procesos, gestión de recursos, sostenibilidad y diseño de sistemas eficientes, que permita no

solo medir el agua que corre por el suelo, sino diseñar entornos más inteligentes, sostenibles desde una óptica de ingeniería.

La **factibilidad** técnica y económica del estudio de escorrentía en el sector de Lumbisí se basa en el aporte de herramientas metodológicas como el análisis de sistemas, diseño de sostenibilidad que permitan integrar soluciones desde etapas iniciales del desarrollo inmobiliario en base a la inclusión temprana de estrategias de gestión de aguas pluviales, con el fin de reducir costos posteriores y mejorar la eficiencia del proyecto basado en un análisis de costo beneficio, que se evidencian en una reducción de costos en la infraestructura de drenaje convencional, obtención de certificaciones ambientales como EDGE, posibles incentivos fiscales asegurando la viabilidad del sistema propuesto dentro del contexto local ya que al construir un nuevo proyecto inmobiliario se realiza un incremento poblacional y la densificación urbana con una gestión sostenible que puede contribuir a reducir vulnerabilidades en comunidades cercanas incluyendo condiciones ambientales seguras en las que convergen aspectos ambientales, sociales, financieros y de diseño viable, para garantizar el desarrollo eficiente. Esta investigación es **factible**, ya que no requiere infraestructuras complejas ni laboratorios especializados ya que se pueden utilizar modelos hidrológicos simplificados como el método racional, software como HEC, QGIS, con complementos hidrológicos o incluso Excel, con el fin de realizar una simulación discreta o dinámica de sistemas para presentar flujos de agua y decisiones operativas, en los cuales los datos necesario son básicos como; precipitación de la zona, pendiente del suelo, áreas impermeables, uso de suelo que suelen estar disponibles en instituciones públicas, servicios meteorológicos, catastros, mapas urbanos, o en mapas digitales, además de tener bajos costos ya que el estudio puede realizarse con software libres o de acceso académico, en los que se pueden realizar análisis de costos estimados sin implementación real, en cuanto al parámetro temporal depende del alcance en el cronograma, pero un estudio delimitado en el que se puede evaluar escorrentía en un desarrollo habitacional

específico puede completarse en un lapso de tiempo de cuatro a ocho meses en los cuales sus etapas irían desde la revisión bibliográfica, recopilación de datos, modelado, análisis de alternativas, evaluación de impacto, costos y entrega. En cuanto a la metodología se basará en enfoques cualitativos y cuantitativos donde se utiliza un análisis multicriterio para evaluar las alternativas de drenaje, simulación de procesos, optimización de recursos.

### **Objetivo general**

Diseñar una propuesta de captación de escorrentía pluvial en un proyecto inmobiliario ubicado en la ciudad de Quito, sector de Lumbisí, mediante el almacenamiento de aguas lluvias para la reutilización en el riego de áreas verdes del conjunto

### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar la problemática que produce la descarga de aguas pluviales y la erosión del suelo mediante la aplicación de la matriz de Conesa con el fin de cuantificar el impacto ambiental a la quebrada receptora.
- Caracterizar las condiciones hidrológicas, climáticas y topográficas del sector de Lumbisí en Quito, con énfasis en los patrones de precipitación, pendiente del terreno y características del suelo, para identificar los factores que influyen en la generación de escorrentía.
- Diseñar una propuesta integral de manejo de aguas lluvias basadas en infraestructura verde y SUDS, integrada al diseño del proyecto inmobiliario, que permitirá reducir volúmenes de escorrentía, mejorar la calidad del agua y favorecer la entrega del recurso hídrico.

## CAPÍTULO II

### Ingeniería del Proyecto

#### Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Con el desarrollo de la infraestructura, en expansión urbana Lumbisí, ubicada en la periferia oriental del Distrito Metropolitano de Quito, ha experimentado en las dos últimas décadas un acelerado proceso de expansión que conlleva a la modificación del uso del suelo, sustituyendo áreas naturales o agrícolas por superficies impermeables, impulsada por la demanda habitacional, la especulación inmobiliaria y la migración interna. Esta modificación altera drásticamente el balance hídrico superficial que genera cambio incrementalmente el coeficiente de escorrentía (C), lo que se traduce en mayores caudales pico y tiempos de concentración reducidos durante eventos pluviales (Chocat, 2007), lo que sobrecarga los sistemas de drenaje existentes que la mayoría de los sistemas están diseñados sin considerar escenarios de cambio climático ni crecimiento demográfico proyectado. La escorrentía pluvial en áreas urbanizadas arrastra contaminantes como sedimentos provenientes de taludes expuestos y obras en construcción, Residuos sólidos mal gestionados, hidrocarburos y metales pesados, de las vías vehiculares, y patógenos entéricos asociados a deficiencias en saneamiento básico, no solo degradan el ecosistema acuático y salud pública. En el caso del valle de Cumbayá, la presión urbanística sin medidas de mitigación adecuadas pone en riesgo la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Este contexto posiciona a Lumbisí como un área de estudio estratégica para analizar la intersección entre urbanización acelerada, degradación hídrica y riesgos sanitarios emergentes. El estudio no solo aporta diagnósticos técnicos hidrológicos, sedimentológicos y microbiológicos por lo que se propondrá alternativas basadas en la sostenibilidad, la equidad y la adaptación al cambio climático para un desarrollo sostenible.

### Figura 3

*Ubicación de proyecto inmobiliario*



Nota: Ubicación de proyecto inmobiliario en Lumbisí (Google Eart)

### Figura 4

*Implantación de proyecto inmobiliario*



Nota: Estudio de implantación de proyecto inmobiliario.

El avance en la construcción de la infraestructura de drenaje artificial ha permitido garantizar condiciones mínimas de habitabilidad y desarrollo poblacional hasta cierto punto un apropiado condicionamiento en el desarrollo de la población de Lumbisí, sin embargo este enfoque tradicional centrado en la evacuación rápida del agua pluvial no obstante la rápida por las tuberías en la red de alcantarillado, implica mayores caudales de descarga y caudales picos extremos en los puntos de descarga a la salida del sistema sobre cuerpos de agua receptores, esto implica un incremento en el riesgo de inundaciones y provoca erosión severa en los causes, alterando su morfología original y su capacidad de autorregulación ecológica. Por otra parte, la concentración de diversos tipos de contaminantes como sedimentos finos provienen de suelos expuestos, que son drenados a los cuerpos de agua luego de los eventos de lluvia. Por lo que anteriormente la suma a los sistemas que conectan aguas residuales al sistema de drenaje pluvial, los diversos ecosistemas acuáticos sufren grandes daños, lo que genera a su vez nuevas necesidades de tratamiento que requieren de soluciones de ingeniería de alto impacto.

Para el desarrollo del diagnóstico se presentan dos casos de mal manejo de escorrentía con el fin de determinar las causas que originan la descarga de aguas que podrían ser reutilizadas.

### **Caso 1. Escorrentía en conjunto A. Problemática por inundaciones recurrentes en invierno**

En el conjunto habitacional identificado como A, ubicado en el sector de Lumbisí, se ha realizado un análisis integral que evidencia la problemática crítica asociada a la gestión inadecuada de escorrentía superficial que se presenta en la urbanización, la cual se encuentra implantada sobre un terreno con 210000 m<sup>2</sup>, con pendiente negativa del 3%, en el cual se ha construido 83 unidades de vivienda que tendrían como zona residencial multifamiliar densificada un área de 54000 m<sup>2</sup>, en el conjunto habitacional cuentan con un parques distribuidos en el conjunto con un área de 34000 m<sup>2</sup>, sus calles son adoquinadas y suman un área de 90.000 m<sup>2</sup>, frente a casas y patios tienen áreas verdes a las cuales las denominaremos

como praderas que son de suelos arcillosos con una pendiente inferior al 2% con un área de 32000 m<sup>2</sup>, lo cual ha alterado significativamente los procesos hidrológicos naturales del área, incrementando tanto el volumen como la velocidad de la escorrentía durante eventos de precipitación intensa, en la cual se puede contar con un arrastre de sedimentación fina que puede ser una vía de proliferación de patógenos bacteriológicos.

Esta condición ha generado inundaciones recurrentes en las zonas bajas del conjunto, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes y la integridad de la infraestructura. El sistema de drenaje existente contempla una cisterna de 21.87 m<sup>3</sup> destinada al manejo combinado de aguas lluvias y aguas residuales provenientes de todo el conjunto habitacional. Sin embargo, su diseño y operatividad resultan insuficientes ante eventos pluviométricos intensos, la evacuación de las aguas se realiza mediante dos bombas sumergibles de 7.5 HP, conectadas a tuberías de 90 mm de diámetro, cuya capacidad hidráulica es claramente inadecuada para el caudal generado durante lluvias. Como consecuencia se produce el colapso parcial del sistema de alcantarillado, provocando el desbordamiento y mezcla en superficie de aguas negras con aguas pluviales, lo cual constituye un foco de riesgo sanitario y ambiental al generar un área con alto potencial de contaminación biológica que puede ser perjudicial para la salud pública.

***Figura 5***

*Inundación por escorrentía*



Nota. Se muestra la inundación en el conjunto A en su parte baja con 0.10 cm de agua acumulada en la superficie en la lluvia de 19 de Marzo del 2025, tomadas por personal de mantenimiento.

Tomando en cuenta la cantidad de precipitación que existió en sitio y el colapso del sistema de drenaje realizamos el cálculo de escorrentía en este conjunto el cual aporta en el estudio y con el fin de poder aportar con una solución óptima de esta problemática.

**Tabla 1**

*Coefficiente de escorrentía.*

TIPO DE SUPERFICIE	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,90
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones o infraestructuras viales de ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95

Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendiente inferior al 2%)	0,25	0,35
Praderas (suelos arenosos con pendiente intermedias)	0,10	0,25
Praderas (suelos arenosos con pendiente superiores al 7%)	0,15	0,35
Praderas (suelos arcillosos con pendiente inferior al 2%)	0,30	0,40
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,20	0,35

Nota: Adaptado de (Aparici Mijares, 1999)

Método Racional

$$Q = C \times I \times A \quad (1)$$

Donde

$$Q = \text{Caudal Pico} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$C = \text{Coeficiente de escorrentía}$

$$I = \text{Intensidad de lluvia} \left( \frac{mm}{h} \right)$$

$A = \text{Área en hectareas}$

## Tabla 2

Datos de área de conjunto A

Clasificación	Coeficiente	Área m <sup>2</sup>	Área (ha)	C. Escorrentía
Parques	0.15	34000	3.4	0.02
Zonas residenciales	0.90	54000	5.4	0.23
Calles adoquinadas	0.70	90000	9.0	0.30
Praderas (suelos arcillosos)	0.35	32000	3.2	0.05
TOTAL	2.10	210000	21.0	0.61

Nota: en la tabla 2 se muestra los coeficientes de escorrentía asignados a las diferentes zonas del Caso 1, según la Tabla 1 asimismo, la última columna refleja el cálculo del coeficiente ponderado derivado de la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de escorrentía } C_{ponderado,i} = \frac{C_i \times A_i}{A_{total}} \quad (2)$$

Donde:

$C_i$  = coeficiente de escorrentía de la superficie  $i$

$A_i$  = área de la superficie  $i$

$A_{total}$  = área total del conjunto

Ejemplo:  $C_{ponderado,i} = \frac{0.15 \times 3.4}{21} = 0.02$

La suma de coeficiente de escorrentía es igual  $C = 0.61$ , lo que indica que aproximadamente el 61% de la precipitación sobre esta área se convertirá en escorrentía superficial directa. El 39% restante se infiltra, evapora o es retenida por la vegetación.

### Tabla 3

*Intensidad de lluvia según INAMHI*

Descripción	mm	Tiempo h	Intensidad	TOT
			dA	mm/min
Evento de lluvia	50	1	3.6	13.89

Método racional=  $Q = C \times I \times A$

$$Q = 2.1 \times 3.6 \times 21 = 157.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

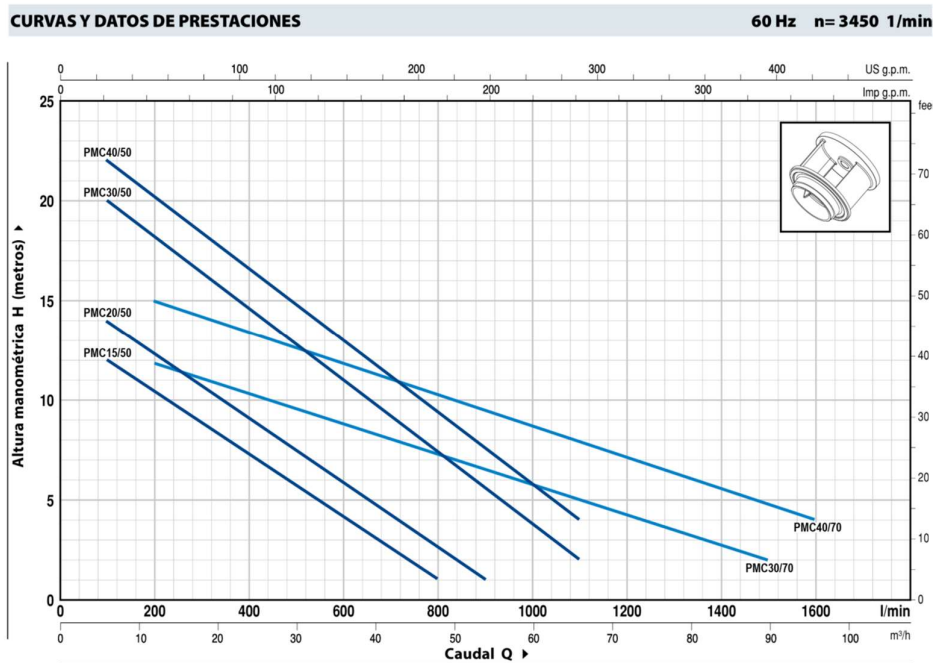
Se considera la suma de coeficiente de todas las zonas del conjunto de estudio ya que al ser un valor adimensional permite obtener un valor más cercano a la realidad.

Una vez que se realizó este estudio se verificó el rendimiento de las bombas que se encuentran ubicadas en sitio con las características que cada una de ellas posee para evidenciar la problemática que tienen en sitio, ya que cuentan con dos bombas sumergibles de 7.5 Hp para

evacuar el volumen de agua de la cisterna de retención de dicho conjunto de estudio. Las cuales tienen una evacuación de 3540 litros por minuto, y pueden llegar a trabajar en paralelo dependiendo el volumen de agua que se encuentre en sitio, con lo cual se evidencia que cuando en el sector el volumen pluvial es alto la evacuación de escorrentía no va a tener la velocidad suficiente de evacuación generando inundaciones en la parte baja del conjunto que puede correr con varios riesgos como de infraestructura, biológicos, de salud pública y demás.

**Figura 6**

*Bombas existentes en sitio*



Nota: Bombas existentes en caso de estudio 1

Cuando el conjunto sufre de una precipitación pluvial alto se puede evidenciar que se tiene como resultado la mezcla de aguas pluviales con aguas servidas en un sistema de drenaje combinado y con infraestructuras deficientes presentan un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente, principalmente por la liberación de patógenos bacterianos en cuerpos de aguas superficiales, ya que cuando las aguas lluvias arrastran aguas residuales liberan bacterias patógenas como: Escherichia coli indicador de contaminación fecal, Salmonella spp causante de salmonelosis, Vibrio Cholere agente del colera, Campylobacter jejuni causante común de diareea banteriana, entre otras, (Ashbolt, 2015), estas bacterias pueden sobrevivir en agua superficiales durante días o semanas, siendo riesgosos para los grupos más vulnerables.

Adicionalmente tendría una degradación del ecosistema local ya que las plantas y microorganismos del suelo pueden verse afectados por la carga orgánica y química, por otra parte se evidencia las fallas en la infraestructura urbana por la sobrecarga del sistema de alcantarillado combinado que al saturarse esta mezcla combinada sale a la superficie por el colapso de las redes lo cual puede llevar a tener implicaciones legales y regulatorias ya que en la mayoría de países verter aguas negras sin tratamiento es ilegal, por lo que las entidades reguladoras pueden imponer multas o exigir correcciones urgentes para estas falencias en la cuales los desarrolladores o administradores del conjunto podrían ser responsabilizados civil o penalmente si hay un daño a la infraestructura o a la salud,

**Figura 7**  
*Inundación por exceso de escorrentía*



Nota. Cajas de revisión saturada por exceso e inundación por exceso de escurrentía

“Fotografía tomada por personal de mantenimiento.

**Tabla 4**

*Concentración de microorganismos en aguas de escurrentía*

Microorganismos	Concentración típica en aguas negras (UFC o NMP/100mL)	
	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>
Coliformes totales	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>
Escherichia coli	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>
Enterococos fecales	10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>
Stmonella spp.	10 <sup>1</sup>	10 <sup>4</sup>
Shigella spp.	10 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>

(WHO., 2023)

FACTOR	EFFECTO SOBRE BACTERIAS
Suelo arcilloso (Lumbisí)	Retiene humedad; prolonga supervivencia
Sol directo (UV)	Reduce viabilidad en superficie expuestas
Temperatura calida (25 C)	Puede acelerar reproducción inicial
Prsencia de materia organica	Nutre a microorganismos Prolonga vida

((EPA), 2022)

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, este problema no solo presenta una falla en la infraestructura física, sino también una deficiencia en la gestión integral de los flujos hídricos, la planificación urbana sostenible y la optimización de procesos técnicos y operativos con un diagnóstico sistemático para mapear flujos de aguas pluviales y sanitarias como los procesos para identificar los puntos de mezclas no intencionada. La ausencia de un sistema de drenaje separado, la falta de controles preventivos y la ineficiencia en la capacidad de evacuación reflejan una desconexión entre el diseño del sistema y los principios de eficiencia, resiliencia y sostenibilidad que deben regir los proyectos de desarrollo habitacional. Ante este contexto, surge la necesidad de formular una propuesta técnica y operativa que permita redefinir el sistema de manejo de aguas, mediante la aplicación de metodologías como el análisis del

proceso, la modelación de flujos, la evaluación de capacidades y la implementación de soluciones basadas en infraestructura verde, con el fin de mitigar los riesgos actuales, garantizar la salubridad del entorno y promover un modelo de gestión hídrica eficiente, seguro y escalable con diseños de protocolos operativos en base a un plan de mantenimiento preventivo de redes y equipos de bombeo mediante un análisis de riesgos y costos para comparar el costo a corregir la red versus el costo esperado de emergencias sanitarias, multas o demandas. Esto se puede evidenciar que al no tener una optimización de sistemas de drenaje urbano sostenible, con la separación de flujos hídricos (pluviales y sanitarios) el agua puede surgir a la superficie y se vuelve una falla sistemática grave que pone en riesgo las vidas, el medio ambiente y la viabilidad legal del desarrollo habitacional y la implementación de estrategias de gestión integral del agua en entornos residenciales, la detección de la problemática, cuantificación de riesgos ayuda a solventar la mejora de procesos, la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental.

## **Caso 2. Escorrentía en conjunto B.**

En el caso de estudio 2 conocido como conjunto B, se aborda una problemática crítica aplicada a la gestión ambiental y la resiliencia urbana. Este conjunto habitacional, ubicado en Lumbisí en un predio de 23025.24 m<sup>2</sup> con una pendiente negativa del 25%, alberga 147 unidades de vivienda, las cuales se dividen en diferentes zonas como área construidas de residencias multifamiliares densas de 12228,00 m<sup>2</sup>, parques con un área de 3212,00 m<sup>2</sup>, calles adoquinadas y playas de estacionamiento con un área de 4381,00 m<sup>2</sup>, y praderas que conforman un área de 3204,00 m<sup>2</sup>, el conjunto habitacional presenta condiciones altamente vulnerables ante eventos de escorrentía superficial. La topografía descendente intensifica el flujo pluvial por su acción gravitacional, incrementando su energía cinética y, en consecuencia, su capacidad erosiva sobre suelos expuestos. Esta dinámica favorece el arrastre de sedimentos, residuos sólidos y contaminantes biológicos, especialmente en contextos donde coexisten deficiencias en la

infraestructura de saneamiento, los impactos observados se dan con daños materiales con infiltración de aguas cargadas con sedimentos hacia viviendas en zonas bajas y deterioro vial, adicionalmente se evidencia que tiene riesgos sanitarios en los cuales se presentan el arrastre de contaminantes biológicos que generan contaminación de espacios exteriores e interiores con fuentes de agua no potable, y con una inminente amenaza de impacto psicosocial ya que los habitantes se encuentren bajo estrés recurrente por amenazas constantes de inundación, pérdida de bienes y deterioro de la calidad de vida. Un factor crítico en este escenario es que las viviendas construidas en la cota más baja -29.85m experimentan arremetidas recurrentes de aguas lluvias que exceden la capacidad de recepción del sistema de alcantarillado mixto existente con un ciclo de vulnerabilidad con los que se retroalimenta la erosión, aumenta la sedimentación los mismos que obstruyen el drenaje, lo que agrava las inundaciones y daños posteriores. Esta saturación impide la retención o desvío controlado del escurrimiento, lo que resulta en la infiltración de aguas cargadas con sedimentos hacia las viviendas, generando no solo daños materiales, sino también una situación de riesgo sanitario y psicosocial para los residentes. Este fenómeno se agrava durante eventos de lluvias prolongadas con alto volumen y duración, condiciones que según proyecciones climáticas recientes, se está volviendo más frecuentes en muchas regiones urbanas (IPCC, 2023). Adicionalmente, la remoción previa de la cobertura vegetal nativa, la cual es común en procesos de urbanización acelerada y la presencia de suelos desnudos o con tierra suelta incrementan significativamente la carga sedimentaria del proceso de escurrimiento. Esto conduce a la obstrucción de sumideros, disminución de la eficacia del drenaje y en escenarios extremos, a inundaciones localizadas (Zhang, 2021).

## **Tabla 5**

*Cálculo de coeficiente de escorrentía*

### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO

CLASIFICACIÓN	Coeficient e	Área m <sup>2</sup>	Área (ha)	C Escorrentía
Parques	0,20	3212	0,3212	0,03
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,90	12228	1,2228	0,48
Calles adoquinadas	0,85	4381	0,4	0,16
Praderas (suelos arcillosos con pend infe al 2%)	0,30	3204	0,3204	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>2,25</b>	<b>23025</b>	<b>2,3025</b>	<b>0,71</b>

**Tabla 6**

*Intensidad de lluvia según INAMHI Caso B*

Descripción	mm/h	Tiempo h	Intensidad A	Tot mm/h
Evento de lluvia	60	1	3.6	16.67

$$Q = C \times I \times A \quad (2)$$

Donde

$$Q = \text{Caudal Pico} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$C = \text{Coeficiente de escorrentía}$

$$I = \text{Intensidad de lluvia} \left( \frac{mm}{h} \right)$$

Factor de conversión: 360 que aplica en método racional

$A = \text{Área en hectareas}$

$$Q = (0.71 \times 60 \times 2.30) / 360$$

$$Q = 0.271 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0.27 \frac{m^3}{s} * 3600s/h = 972 m^3/h$$

**Tabla 7**

*Estimación de arrastre de sedimentos caso 1*

Clasificación	Ton/ha/año	Área m <sup>2</sup>	Área (ha)	Carga sed
Áreas erosionables praderas 50% expuestas		1602	0,16	Carga=E*A
Área total susceptible		2305	0,23	
Tasa de er anual en suelos exp con 25% pend	60,00		0,00	
Evento extremo 5% de er anual (lluvia intensa)	0,05		0,00	
<b>TOTAL</b>	<b>3,0 ton/ha</b>	3907	0,39	<b>0,69 ton</b>

Para obtener la carga de sedimentación trabajamos de la siguiente manera:

$$Carga = E_{anual} \times A_{ha} \quad (3)$$

Donde

$E_{anual}$  = Evento de erosión extremo anual

$A_{ha}$  = Área aplicada

$$Carga = 3,0 \frac{ton}{ha} \times 0.23ha$$

$$Carga = 0.69 ton$$

La estimación de arrastre de sedimentos para el Caso 2 evidencia que, bajo un evento extremo de lluvia, el área susceptible de 0.23 ha podría generar una carga de 690 Kg de

sedimentos, La combinación de este volumen de material particulado con el caudal pico calculado incrementa significativamente el riesgo de obstrucción en las redes de drenaje por acumulación de sólidos, una vez que la escorrentía se vuelve superficial puede existir infiltración de aguas turbias en viviendas de zonas bajas debido al desbordamiento de la escorrentía superficial y deterioro acelerado de pavimentos, con el aumento de eventos extremos (IPCC H. L., 2023), estos volúmenes podrían superar 1200,00 m<sup>3</sup> si la intensidad sería de 75mm/h. Es por ello que siempre se debe cuidar y restaurar la cobertura vegetal con especies nativas de raíz profunda, por ello se debe realizar un monitoreo constante de sedimentos.

Desde una perspectiva microbiológica, los sedimentos no deben considerarse meros componentes inertes. Estudios recientes (Li, 2022); (WHO., 2023), han demostrado que partículas finas de arcilla y limo actúan como matrices de adhesión y protección, para patógenos entéricos como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Esta asociación incrementa notablemente la viabilidad y persistencia de dichos microorganismos en medios acuáticos, al resguardarles de factores ambientales estresantes como la radiación UV y la desecación. Por lo tanto, el sedimento arrastrado no solo representa un riesgo físico estructural, sino también un vector de exposición biológica. Ante estos desafíos, el enfoque contemporáneo de la ingeniería sostenible promueve la integración de soluciones basadas en normativas verdes y principios de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). Estas estrategias buscan disipar la energía del flujo, promover la infiltración y retener contaminantes en la fuente ((EPA), 2022) (Fletcher T. D., 2023). En terrenos inclinados como de este conjunto, tales medidas no mitigan riesgos operativos y ambientales, sino que representan una oportunidad para rediseñar sistemas desde una lógica de prevención, eficiencia y responsabilidad social, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

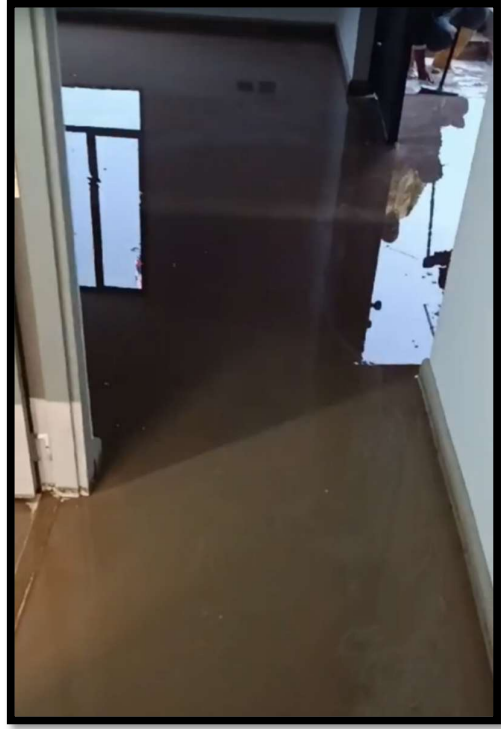
**Tabla 8***Fuente probable de contaminación bacteriana en conjunto B*

<b>FUENTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>RIESGO MICROBIOLÓGICO</b>
Saneamiento deficiente	Alcantarillado mixto saturado, posibles fugas o conexiones erróneas	Aporte directo de E. Coli, Salmonella, Shigella, virus entéricos
Residuos sólidos mal gestionados	Acumulación en calles o zonas verdes	Proliferación de fauna sinantrópica (roedores, aves) y lixiviados fecales
Suelos expuestos con materia orgánica	Resto de basura, excretas de animales domésticos / silvestres	Inóculo bacteriano persistente en capa superficial
Infiltración en viviendas bajas	Agua turbia ingresa a viviendas, patios, etc	Exposición directa vía oral-fecal o contacto dérmico

Mediante una evaluación cuantitativa se estima una alta probabilidad de presencia de patógenos en el escurrimientos, especialmente durante lluvias intensas, esto trae implicaciones sanitarias y ambientales con alta consecuencia como riesgo de enfermedades diarreicas agudas en las altas incidencias esperadas en temporadas lluviosas, también tiene contaminación secundaria con sedimentos depositados en patios o calles que siguen liberando patógenos durante días, y un impacto psicosocial con una pérdida de confianza en infraestructura pública, la evaluación de vulnerabilidad en donde los sedimentos transportando patógenos hacia hogares y espacios comunes en donde interaccionan entre procesos físicos y biológicos que agrava significativamente la vulnerabilidad urbana. La asociación de microorganismo – sedimento incrementa la persistencia, movilidad y viabilidad de estos agentes en el ambiente acuático, convirtiendo al escurrimiento en un vector de exposición sanitaria directa para los residentes, por lo que la problemática trasciende lo hidráulico y se transforma en un riesgo ambiental compuesto donde la sedimentación y la contaminación bacteriológica se retroalimentan

**Figura 8**

*Inundación por aguas lluvias*





Nota: inundación con arrastre de sedimentación en unidades de vivienda.

### **Conclusión de los casos de estudio considerados**

Los casos de estudio analizados evidencian que la inadecuada gestión en el manejo de escorrentía superficial en entornos urbanizados no constituye únicamente en una falla técnica hidráulica, ya que se convierte en un sistema de vulnerabilidad interconectada que comprometen la resiliencia urbana, la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Estos conjuntos que tienen una gran diferencia topográfica y dimensional comparten una raíz común que se identifica como la desconexión entre el diseño urbanístico y los procesos hidrológicos naturales del territorio. Se puede identificar la problemática crítica de los conjuntos que tienen una capacidad insuficiente, como el Conjunto A que tiene un sistema de drenaje combinado con una cisterna de 21.87 m<sup>3</sup> y bombas de evacuación limitadas de 3540 l/min que colapsan ante caudales pico de 1.78m<sup>3</sup>/seg generados por lluvias intensas, lo que la saturación del agua pluvial provoca la mezcla de aguas lluvias y aguas negras del conjunto, creando focos de contaminación biológica en los cuales los patógenos persisten en la superficie empeorando la situación.

El conjunto B que tiene una pendiente negativa del 25% enfrenta un desafío de energía cinética y erosión por su topografía pronunciada la cual acelera el flujo pluvial generando un caudal de  $0.27\text{m}^3/\text{seg}$  que arrastra 630.6 kg de sedimentos durante eventos extremos, estos sedimentos no solo obstruyen redes de drenaje y dañan la infraestructura si no que adicionalmente actúan como matrices de protección para patógenos entéricos incrementando su viabilidad y convirtiendo escurrimiento en un vector de exposición sanitaria directa hacia viviendas en zonas bajas. Por lo que es necesario identificar las dimensiones del riesgo sistemático en los que ambos casos revelan una triple dimensión del riesgo, como es el hidráulico estructural por la saturación de redes que pueden provocar el colapso del alcantarillado combinado, infiltraciones en viviendas y un deterioro acelerado de pavimentos, otro riesgo es el sanitario biológico que se presenta por la asociación de sedimentos con patógenos los cuales crean un ciclo de retroalimentación peligroso en los cuales los microorganismos se protegen de factores estresantes, prolongando su presencia en el ambiente y aumentando la probabilidad de transmisión de enfermedades agudas. Los riesgos psicosocial e institucional sobresalen por el estrés recurrentes que esta problemática genera en los habitantes por su pérdida de confianza en la infraestructura y exposición legal de los administradores ante incumplimientos normativos por vertimiento de aguas residuales sin tratamiento.

Tras el estudio de los casos se puede obtener lecciones para la gestión urbana sostenible ya que estos casos demuestran que la optimización de procesos operativos deben integrarse con principios de drenaje urbano sostenible (SUSD) ya que la solución no radica únicamente en incrementar capacidades hidráulicas, sino en realizar una separación de flujos hídricos (pluviales vs sanitarios) para evitar un exceso de volumen de agua con mezclas peligrosas que salgan a la superficie, también se debe implementar infraestructura verde que disipe la energía promoviendo la infiltración y retención de sedimentos en su origen. Restaurar la cobertura vegetal nativa con especies de raíz profunda para estabilizar suelos erosionables,

específicamente en pendientes superiores al 20%, establecer protocolos de monitoreo de sedimentos y patógenos como indicadores tempranos de riesgo sanitario. Adoptar enfoques preventivos basados en análisis de riesgos y costos, en la cual la inversión en resiliencia hidráulica se justifica frente al costo esperado de emergencia sanitaria, multas regulatorias y daños a la infraestructura.

Para poder obtener una conclusión integradora basada en un análisis mediante la Matriz de Conesa (Conesa Fernández - Vitora, 1997), a los casos de estudio permite sistematizar y cuantificar la gravedad de los impactos generados por la gestión inadecuada de escorrentía en los conjuntos A y B de Lumbisí.

**Tabla 9**

***Matriz de Conesa Caso A***

<b>MATRIZ DE CONESA CASO 1 ESTUDIO DE ESCORRENTIA</b>														
Comp Ambie	IMPACTO	N A	I N	E X	M O	P E	R V	S I	A C	E F	P R	M C	IM P	IMPACT O
AGUA	Contaminación del agua por agentes biológicos	(-)	4	3	4	2	4	2	1	1	2	2	25	Moderado
	Contaminación agua por sólidos	(-)	2	4	2	4	2	2	1	4	2	2	25	Moderado
	Reutilización de agua pluvial	(-)	8	8	8	8	8	8	8	4	8	8	76	Crítico
SUELO	Reducción cobertura vegetal	(-)	4	2	8	4	4	8	4	8	4	4	50	Severo
	Impermeabilización de suelo	(-)	1	1	2	1	2	1	4	1	2	1	16	Irrelevante
AIRE	Contaminación aire por material particulado	(-)	4	8	2	1	4	1	2	1	1	1	25	Moderado
SOCIAL	Contaminación suelo por residuos sólidos	(-)	2	4	2	8	2	8	4	4	2	2	38	Moderado
	Riesgos de inundaciones	(-)	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	76	Crítico

**Tabla 10**

*Matriz de Conesa Caso B*

MATRIZ DE CONESA CASO 2 ESTUDIO DE ESCORRENTIA														
Comp Ambie	IMPACTO	NA T	I N	E X	M O	P E	R V	S I	A C	E F	P R	M C	IM P	IMPACT O
AGUA	Contaminación del agua por agentes biológicos	(-)	4	3	4	2	4	2	1	1	2	2	25	Moderado
	Contaminación agua por sólidos	(-)	4	3	4	1	4	2	2	4	2	2	28	Moderado
	Reutilización de agua pluvial	(-)	8	8	8	8	8	8	8	4	8	8	76	Crítico
SUELO	Reducción cobertura vegetal	(-)	1	2	4	1	4	2	4	2	2	4	26	Moderado
	Impermeabilización de suelo	(-)	4	2	2	2	2	1	4	2	4	2	25	Moderado
AIRE	Contaminación aire por material particulado	(-)	4	8	4	4	8	4	8	4	8	2	54	Severo
SOCIAL	Contaminación suelo por residuos sólidos	(-)	2	4	4	4	8	4	2	4	2	4	38	Moderado
	Riesgos de inundaciones	(-)	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	76	Crítico

$$I=(3IN+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+MC) \quad (1)$$

IN= Intensidad

EX= Extensión

MO= Momento

PE= Persistencia

RV= Reversibilidad

SI= Sinergia

AC= Acumulción

EF= Efecto

PR= Periodicidad

MC= Recuperabilidad

En síntesis estos casos reflejan un fracaso del paradigma urbanístico convencional que prioriza la densificación territorial son considerar la capacidad de carga hidrológica que ocasiona la transición hacia ciudades resilientes en las cuales exigen integrar la gestión del agua como eje transversal del diseño urbano, reconociendo que la sedimentación y microorganismos patógenos nos son elementos aislados y que son componentes de un sistema ambiental complejo donde los procesos físicos, bilógicos y sociales se retroalimentan. Solo mediante una gestión

integral basada en evidencia científica, monitoreo continuo y soluciones naturales será posible romper el ciclo de vulnerabilidad que hoy afecta a comunidades como las de Lumbisí.

### **Estudio del impacto ambiental**

El diagnóstico actual evidencia que la expansión urbana en Lumbisí, sin una planificación hídrica sostenible, va generando impactos ambientales críticos que trascienden lo técnico y se convierte en riesgos sistemáticos para la salud, la infraestructura y la equidad social, especialmente en zonas sensibles de expansión urbana, para dar una solución sistémica se requiere un enfoque interdisciplinario en base a metodologías de optimización, análisis de procesos y gestión de riesgos, integradas con principios de drenaje urbano sostenible y basadas en el medio ambiente.

### **Tabla 11**

#### *Aspectos de estudio*

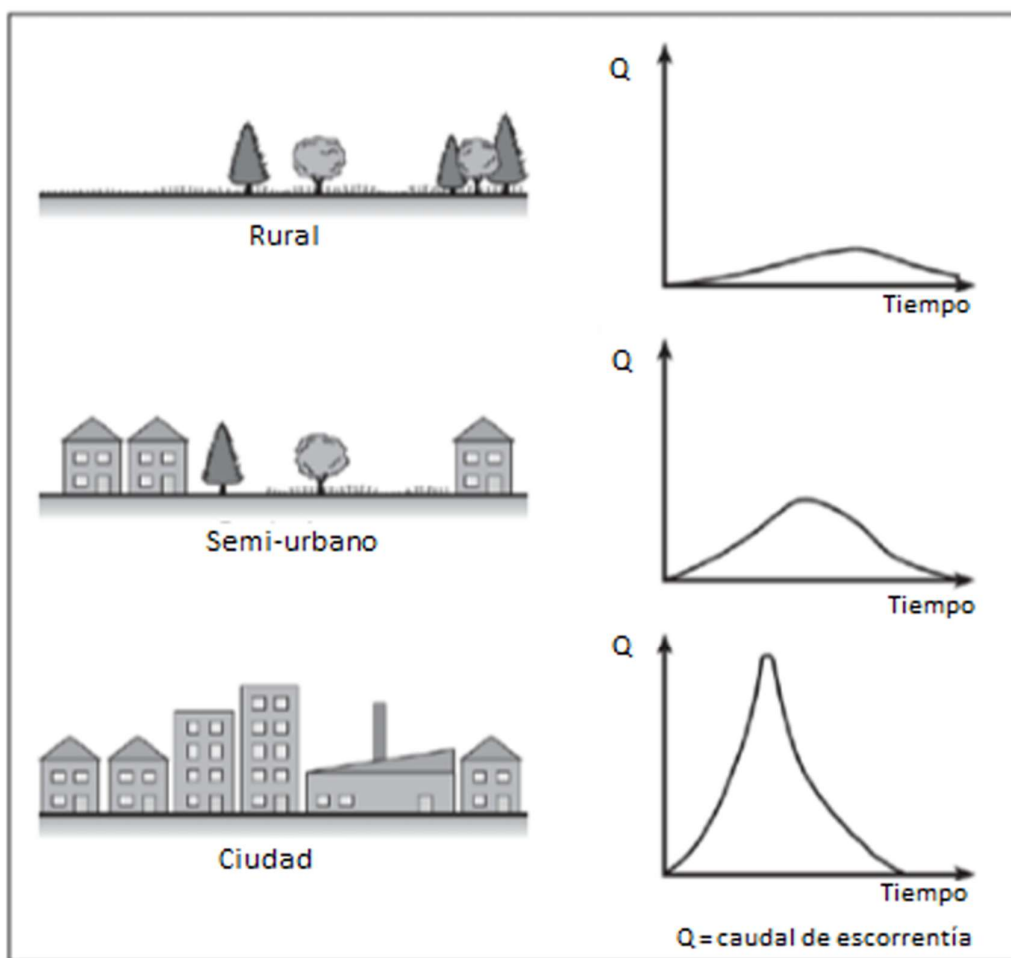
<b>Aspecto</b>	<b>Mejora a realizar</b>
Precisión geográfica	Se contextualiza a Lumbisí como un sector periurbano, bajo presión urbanizadora.
Terminología técnica	Se especifica escorrentía superficial y se diferencia los tipos de riesgos (hidrológico, ambiental, sanitario/biológico)
Vinculación normativa	Se relaciona explícitamente con la Ordenanza “Verde – Azul” como marco regulatorio
Conexión con línea de investigación	Se integran los conceptos de sedimentos, microorganismos patógenos y riesgo biológico.
Eliminación de vaguedad	Riesgos específicos y cuantificables.

Incremento de superficies impermeables: La construcción de edificaciones, vías y áreas pavimentadas ha reducido drásticamente la capacidad de infiltración natural del terreno. En

desarrollos inmobiliarios convencionales, el porcentaje de impermeabilización puede alcanzar entre el 60% y 80% de la superficie total.

**Figura 9**

*Inundación por aguas lluvias*



Nota. Influencia de la urbanización en el pico de escorrentía ( Butler, 2011)

Según la clasificación de la declaración del Impacto Ambiental (DIA) en Lumbisí es de Nivel 2 como se evidencia en el Reglamento a la LOA (Decreto Ejecutivo 1041, 2021) .

**Tabla 12**

*Norma aplicable*

Instrumento	Artículo Relevante	Requisito Ambiental
-------------	--------------------	---------------------

Constitución de la Republica	Art. 14,396	Derecho a un ambiente sano; principio de prevención
Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Art. 32, 33	Obligatoriedad de EIA para proyectos que alteren cuerpos hídricos
TULSSMA	Art. 56, 57	Calidad de agua superficial. Límites máximos permisibles.
Ordenanza Metropolitana N 381	Art 18, 19	Retención 100% eventos $\leq 10$ mm; protección de causes
Norma técnica INEN 2192	Secc. 4.3	Gestión de escorrentía en desarrollos urbanos.

### **Definición del área de influencia**

El área de influencia la vamos a realizar en el espacio geográfico, físico, biótico y socioeconómico sobre el cual están desarrollados los casos de estudio los fenómenos ambientales que genera afectos directos, indirectos o acumulativos, medibles en el tiempo, contribuyendo de esta forma un concepto fundamental en estudios de evaluación de impacto ambiental y gestión de recursos hídricos que permite delimitar el alcance espacial de análisis técnico y determina los componentes ambientales a monitorear, tomando en cuenta que el estudio de escorrentía en una zona urbana como Lumbisí debe integrarse al entorno natural logrando reconocer que el agua no respeta límites administrativos, y que cada gota que cae en el predio puede transportar sedimentos y patógenos en todo su trayecto.

<b>Tipo de área</b>	<b>Extensión</b>	<b>Justificación</b>
Área de influencia directa	Predio + 50m aguas debajo de la quebrada	Impacto físico inmediato por descargas

Área de influencia indirecta	Cuenca hidrográfica de la quebrada Lumbisí (1.8 km <sup>2</sup> )	Alteraciones en régimen hidrológico y calidad de agua
Área de influencia acumulativa	Corredor ecológico Lumbisí, Pifo	Sinergia con otros desarrollos inmobiliarios en zonas periurbanas

**Tabla 13**

*Datos de quebrada receptora*

Parámetro	Valor	C TULSMA	Estado
Caudal base (época seca)	45 L/s	---	Moderado
Ancho superficial	3.20 m	---	Estable
Tirante normal	0.45 m	---	Estable
Pendiente longitudinal	3%	---	Moderado
Uso de suelo cuenca alta	65% agri, 25% nat 10%urba	---	Presión antrópica media
Calidad de agua (pre desarrollo)	Clase B TULSMA	Aptitud riego no intensivo	Vulnerable

Nota: Referencia; (Ecuador M. d., 2015)

### **Vulnerabilidad del cauce**

La quebrada Lumbisí cuenta con un suelo de lecho con arcilla limosa (CI) con baja resistencia a la erosión y con una velocidad crítica de 1.2 m/s, con presencia de vegetación ribereña poco

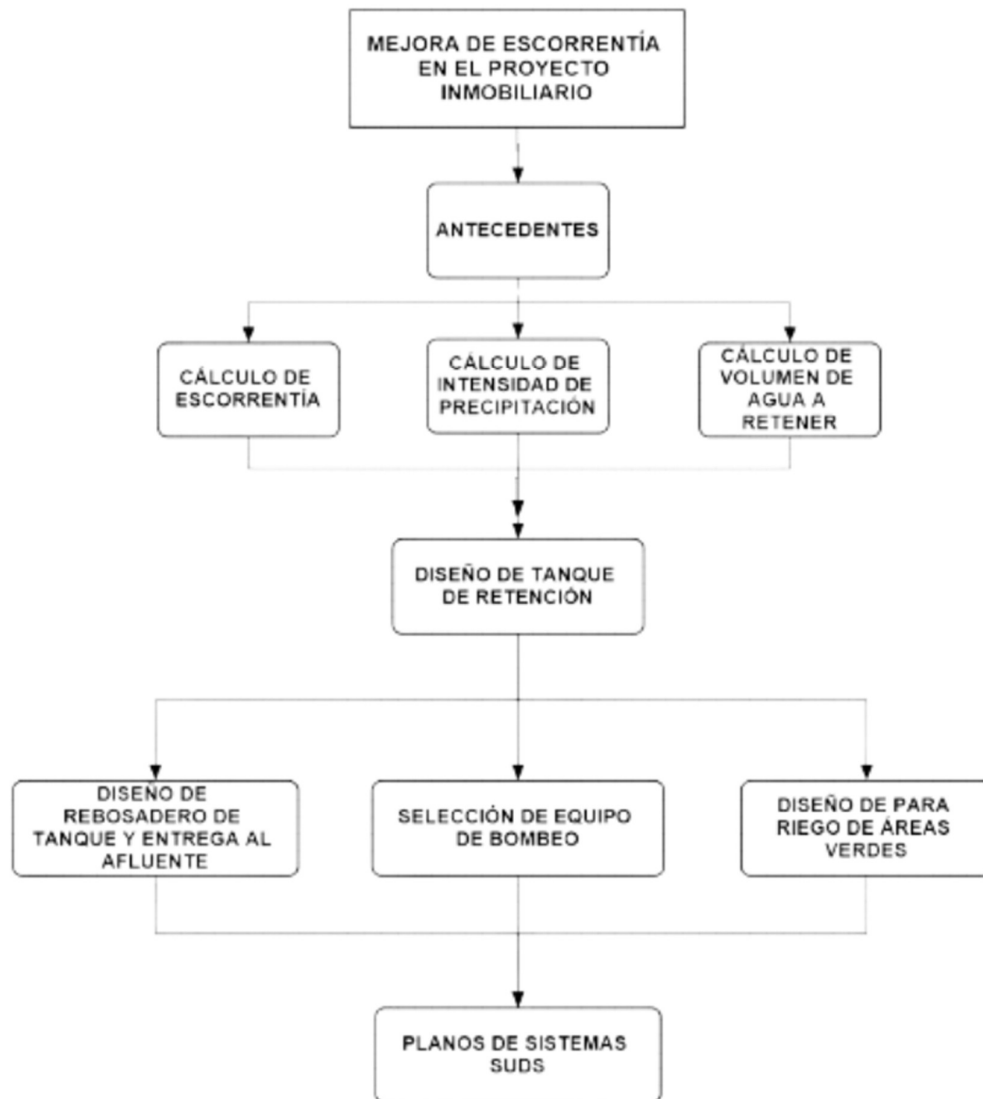
densa y con cobertura nativa, y una cobertura actual que comprende del 28% de praderas naturales con arbustos dispersos y especies invasoras como la *Thunbergia alata* (susanita) en un 5% del área que requiere erradicación previa. Su fauna que es conformada principalmente de anfibios como los *pristimantis* spp (ranas terrestres), lagartijas que son naturalmente de presencia húmeda y los ratones de campo, la cual tiene un índice de conectividad actual bajo con un 25% por la fragmentación avanzada por la urbanización circundante.

Para la identificación y evaluación de impactos se aplico la matriz de Conesa con ponderación cuantitativa en la cual se evidencio que el tratamiento de agua que se brinda antes de llegar a un cause es mínimo, por lo que se tiene aristas que van desde lo irrelevante, moderado, severo y crítico, que generan impactos desalentadores en escenarios en los cuales se trabajan sin sistemas SUDS y se trabaja únicamente con el diseño convencional, en el cual se identifica un incremento del caudal pico de hasta un 72% en el cual se denota un incremento de patógenos adheridos a sedimentos, que podría desencadenar un riesgo de salud, sobre todo a la población ribereña.

## **Área de estudio**

<b>Dominio:</b>	Tecnología y sociedad
<b>Línea de Investigación:</b>	Seguridad, salud laboral y ambiente
<b>Campo:</b>	Ingeniería Industrial
<b>Área:</b>	Gestión ambiental
<b>Aspecto:</b>	Uso adecuado de recurso hídrico
<b>Objeto de estudio:</b>	Diseño del mejoramiento de escorrentía pluvial en un proyecto inmobiliario
<b>Periodo de análisis:</b>	Octubre 2025 – Marzo 2026

## Modelo operativo



## **Desarrollo del modelo operativo**

### **Mejora de escorrentía en proyecto inmobiliario**

La planificación de proyectos inmobiliarios en entornos urbanos contemporáneos exige el cumplimiento de un marco normativo ambiental cada vez más exigente, orientado a mitigar los impactos hidrológicos derivados de la impermeabilización del suelo. En el Distrito Metropolitano de Quito, este enfoque regulatorio se materializa a través de la Ordenanza Metropolitana “Verde Azul”, que establece la obligatoriedad de presentar un estudio de manejo de aguas pluviales (EMAP) como condición previa a la aprobación de nuevos desarrollos. Dicho estudio debe demostrar técnicamente la capacidad del proyecto para atenuar el hidrograma de escorrentía superficial, particularmente mediante la reducción del pico de caudal en la fase inicial de un evento pluvial, esta estrategia busca evitar la sobre carga de las redes de drenaje existentes diseñadas bajo parámetros hidrológicos anteriores a la expansión urbana acelerada y consecuentemente, prevenir externalidades negativas de triple dimensión. El daño de infraestructura en inundaciones urbanas, colapso de colectores y erosión de causes receptores, daño ambiental en donde la afección se da por el arrastre de contaminantes y degradación de cuerpos hídricos, y un daño socio sanitaria en la cual se identifica una interrupción de servicios básicos, riesgos de exposición a patógenos.

Por consiguiente, resulta imperativo desarrollar un estudio de manejo de aguas pluviales en el proyecto inmobiliario proyectado en el sector de Lumbisí, área periurbana del distrito Metropolitano de Quito sometida a creciente presión urbanizadora, con el objetivo de diseñar medidas técnicas que mitiguen los riesgos hidrológicos, ambientales y sanitarios asociados al incremento de la escorrentía superficial. Dicha intervención permitirá no solo cumplir con los requisitos de la Ordenanza Metropolitana, si no también reducir la carga contaminante.

## **Antecedentes**

El Distrito Metropolitano de Quito ha avanzado regulatoriamente mediante la Ordenanza Metropolitana No. 381 (2020), conocida como “Ordenanza Verde Azul”, que establece la obligatoriedad de presentar un estudio de manejo de aguas Pluviales, para proyectos inmobiliarios, los cuales deben presentar la demostración de una reducción mínima del 25% en el caudal pico de esorrentía respecto al escenario pres desarrollo, la retención del 100% de la esorrentía generada por eventos de lluvia de 10 mm o menos. El paradigma de los SUDS ha evolucionado desde simples técnicas de retención hacia sistemas multifuncionales que replican procesos hidrológicos naturales, no obstante, persiste una brecha metodológica en la cuantificación integrada de beneficios hidrológicos, de calidad de agua y de conectividad ecológica en proyectos inmobiliarios a escala parcelaria, especialmente en entornos andinos con topografía compleja.

## **Cálculo del volumen de esorrentía**

El volumen de esorrentía se va a determinar mediante la integración del hidrograma de esorrentía durante el evento de diseño, considerando la intensidad de precipitación, el coeficiente de esorrentía ponderado y la duración del evento, este cálculo va a contribuir como base hidrológica para dimensionar las estructuras de retención, sedimentación y descarga del sistema propuesto, asegurando de esta forma una gestión integral que aborda simultáneamente los componentes hidrológicos ambiental y de salud pública.

## **Cálculo de intensidad de precipitación**

El dimensionamiento del sistema de gestión de aguas pluviales se fundamenta en dos componentes metodológicos clave, el cual se basa en la determinación de la intensidad de diseño mediante la curva IDF de la estación meteorológica M0002 “La Tola” del INAMHI, la cual es la más cercana al sector de Lumbisí. Considerando una duración de lluvia de 65 minutos y un periodo de retorno de 14 años.

### **Cálculo de volumen de agua a retener**

A partir de la intensidad de precipitación determinada  $i=35.61$  mm/h para una duración de 65 minutos y periodo de retorno de 14 años, se procede al cálculo del volumen de escorrentía a retener mediante el método racional modificado, adaptando a los requerimientos de la Ordenanza Metropolitana Verde – Azul”, el procedimiento se estructura en tres etapas.

Primera etapa: determinación del coeficiente de escorrentía ponderado en el cual se calcula el coeficiente global del predio considerando la proporción y naturaleza de cada superficie.

Segunda etapa: cálculo del caudal de escorrentía (Q), aplicando la formula racional.

Tercera etapa: determinación del volumen de retención en el cual el volumen a retener se dimensiona considerando dos componentes complementarios exigidos por la normativa.

### **Diseño de tanque de retención**

El tanque de retención contribuye como el componente central del sistema SUDS propuesto, el mismo que será diseñado para cumplir con tres funciones simultáneas como la retención del first flush contaminado, el almacenamiento de aguas pluviales de forma temporal para subsecuente ser utilizado en el riego de áreas verdes y como atenuante del hidrograma de escorrentía mediante descarga controlada, cumpliendo con los requisitos de la Ordenanza “Verde – Azul”, y contribuyendo con una solución replicable para proyectos inmobiliarios, demostrando la viabilidad técnica de gestionar de manera integral los riesgos hidrológicos, ambientales y sanitarios derivados de la urbanización acelerada.

### **Diseño de rebosadero de tanque y entrega al afluente**

El rebosadero constituye un elemento crítico de seguridad del sistema de retención el cual está diseñado para gestionar los excedentes de escorrentía durante eventos superiores a la capacidad de almacenamiento y garantizar una descarga controlada que minimice la erosión del cauce, la movilización de sedimentos y el riesgo biológico asociado a patógenos, demostrando de forma

directa que la infraestructura de drenaje puede diseñarse como un elemento de restauración ecológica en lugar de una fuente de degradación ambiental.

### **Selección de equipo de bombeo**

Para la selección de equipos se debe considerar varias aristas fundamentales, como el volumen de agua que va a almacenar el tanque de retención, los sólidos suspendidos tras la sedimentación que permitan poder realizar la reutilización productiva del recurso hídrico como estrategia de cierre del ciclo urbano del agua y un cierre del diseño de forma integral, convirtiendo la propuesta como técnicamente viable y económicamente rentable alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

### **Diseño de sistema de riego en áreas verdes del proyecto inmobiliario**

El diseño de riego debe ser integral y se debe considerar el cambio climático que existe en el sector de Lumbisí, tomando en cuenta la época de lluvias y épocas secas, tomando en cuenta que la infraestructura verde puede integrarse funcionalmente con la infraestructura hidráulica convencional para lograr ciudades más resilientes y sostenibles.

### **Planos de sistemas SUDS**

Los planos de sistema SUDS contienen toda la información técnica necesaria en la cual se va a constatar las especificaciones y detalles constructivos exigidos por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y la Ordenanza Metropolitana “Verde – Azul”.

## Capítulo III

### Propuesta y Resultados Esperados

#### Presentación de la propuesta

Cada lluvia intensa en Lumbisí no es solo un evento meteorológico ya que se convierte en una oportunidad para redefinir la relación entre urbanización y ciclo hidrológico, bajo la superficie aparentemente ordenada de nuevos conjuntos residenciales, los suelos naturales con capacidad de infiltración se transforman en superficies impermeables que generan escorrentía contaminada que arrastran sedimentos con elementos patógenos (Fletcher BR, 2022), más sin embargo esta dinámica no debe interpretarse como una emergencia inevitable, sino más bien como un desafío técnico susceptible de ser revertido mediante un diseño integral. Por lo que pretende diseñar un modelo operativo integrado de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), para un desarrollo residencial de 110 unidades de vivienda con el objetivo de reducir el caudal pico y reutilizar 1850 m<sup>3</sup> anuales de agua pluvial para riego de áreas verdes en el cual la innovación radica en articular cuatro componentes interdependientes como la caracterización hidro territorial, el diseño de infraestructura verde, tiene el potencial de transformar el desarrollo inmobiliario al integrar la naturaleza en la cual cada gota de lluvia deja de ser un riesgo para convertirse en recurso, en la cual la solución no requiere tecnologías de punta ni inversiones desproporcionadas que articula cuatro pilares como la recuperación , tratamiento in situ, reutilización productiva del agua y protección activa de la quebrada mediante estructuras de entrega de bajo impacto. Con esto se demuestra que el crecimiento urbano y la salud pública no son excluyentes, sino que la escorrentía se puede transformar en un pilar de resiliencia climática.

## **Mejora de Escorrentía en Proyecto Inmobiliario**

### **Antecedentes**

(Fletcher S. H., 2015) demostraron en Melbourne que la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) reduce el caudal pico entre un 40% a 60% y los sólidos suspendidos totales (SST) en un 75%, al recuperar funciones hidrológicas naturales mediante pavimentos permeables y biofiltración. Posteriormente (Fletcher T. D., 2023) ampliaron esta evidencia al vincular explícitamente los sedimentos en escorrentía urbana con la persistencia de patógenos (Echeri colí, Salmonella), estableciendo que cada gramo de sedimento incrementa  $10^3$  veces la supervivencia microbiana en zonas densamente poblada.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022) reportó que el Distrito Metropolitano de Quito incrementó su superficie impermeable en un 32% entre el 2015 y 2022, elevando la escorrentía superficial en cuencas críticas como Lumbisí en un 45%, este fenómeno coincide con el aumento del 28% en eventos de inundación localizada registrados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos (OMS, 2023), atribuidos directamente a la pérdida de capacidad de infiltración en suelos arcillosos de la zona.

La Ordenanza Metropolitana N° 003 (Quito, 2024) establece por primera vez en Quito, criterios obligatorios de drenaje sostenible para proyectos inmobiliarios en zonas de alta vulnerabilidad hídrica, exigiendo una reducción mínima del 30% en caudal pico y del 50% en SST respecto al escenario as-is. Complementariamente, la Resolución N.º035 (Quito, 2024) incorpora el concepto de “huella hídrica urbana” como requisito para licencias de construcción, vinculado explícitamente la gestión de escorrentía con la protección de quebradas receptoras con el contexto normativo que enmarca la pertinencia de esta investigación en Lumbisí, sector catalogado como “zona de recarga hídrica crítica” en el Plan de Ordenamiento Territorial.

A pesar de la normativa emergente, estudios como el de EPMAPS (2033, 2025) evidencian que el 68% de los proyectos inmobiliarios en el Distrito Metropolitano de Quito

incumplen estándares de drenaje sostenible por usencia de metodologías de diseño adaptadas a condiciones locales con suelos arcillosos, precipitaciones intensas, con una brecha que justifica el desarrollo del modelo operativo propuesto, que integra datos pluviométricos de la estación “La Tola” perteneciente al INAMHI con el cálculo de EMCs para SST en áreas residenciales, superando la aplicación genérica de estándares internacionales sin calibración local, esto se realiza con el fin de mitigar riesgos ambientales, hídricos y sanitarios, para la cual se realizó una delimitación precisa del área de estudio, identificando usos del suelo actuales y proyectados, porcentaje de impermeabilización, topografía y tipo de suelo, se calcula los parámetros clave como el coeficiente de escorrentía (C). Modelación de sistema de recolección de aguas lluvias mediante software AutoCAD, en el cual se realizará el diseño del sistema de la recolección de aguas lluvias basados en el cálculo de escorrentía por eventos pluviales con un periodo de retorno de diez años con un escenario de proyecto implementando.

### **Tipología de Vivienda**

Desde el 2016 en el Distrito Metropolitano de Quito ha transitado hacia un modelo de planificación urbana que integra explícitamente hacia la innovación y sostenibilidad ambiental en el desarrollo inmobiliario con diversas políticas enfocadas en la relación entre el desarrollo urbano y el medio ambiente, entre estas iniciativas se encuentra la ordenanza No. 003, emitida el 12 de mayo del 2024, que establece lineamientos para la edificabilidad en función a la ubicación dentro del distrito. Posteriormente la alcaldía del Distrito Metropolitano de Quito expidió la Resolución No. 035 en Octubre del 2024 junto con una reforma parcial al instructivo de aplicación el cual incluye criterios técnicos de verificación para proyectos que deseen incrementar su edificabilidad, no obstante este proyecto inmobiliario ubicado en Lumbisí, no se acogerá al incremento de niveles verticales, ni al máximo aprovechamiento establecido por dicha normativa, manteniéndose de esta manera dentro de los parámetros básicos definidos para el predio. Este conjunto inmobiliario requiere aplicar a normativas básicas sin sobrepasar el

70,00% de COS total asignado al terreno sonde se va a implantar. Este estudio va a determinar a través de estudios técnicos que el proyecto cumple con todos los parámetros arquitectónicos, energéticos y gestión ambiental. Partiendo de esta premisa se contempla una serie de acciones concretas que permitan al proyecto inmobiliario planificarse como pionero en temas de diseño bioclimático, sustentable y con eficiencia, ya que estos parámetros se encuentran en la normativa del Plan de Uso y Gestión del Suelo vigente.

A continuación, se presenta el resumen de datos relevantes del terreno y proyecto inmobiliario en estudio, que se utilizarán para realizar los cálculos de cumplimiento de parámetros.

Condiciones de edificabilidad del lote	
Número de predio	338318
Área de levantamiento topográfico	25494,38 m <sup>2</sup>
Zonificación	(RUB-2) Residencial Urbano de Baja Densidad 2
Edificabilidad básica	A63 / 2 Pisos permitidos
Edificabilidad máxima	N/A
Valor AIVA según PUGS	197 USD (fecha de estudio)

**Tabla 14**

*Clasificación de edificaciones*

CLASIFICACIÓN POR GRUPO EN EDIFICACIONES PARA VIVIENDA		
GRUPO	CONDICIONES N UNIDADES	Implicaciones normativas
F	Mayores a 70	Infraestructura communal ampliada, Sistema contra incendios, gestión integral de aguas residuales y pluviales.

En el proyecto inmobiliario objeto del estudio corresponde a un desarrollo residencial multifamiliar que cuenta con un total de 110 unidades residenciales, las cuales pertenecen al Grupo F según la categorización establecida en el Código Nacional de Edificaciones (CNE) del

Ecuador, que estipula un rango de mayores a 70 unidades, esto implica que debe seguir con el cumplimiento de exigencias técnicas y de infraestructura más rigurosas que escalan proporcionalmente con la densidad poblacional proyectada. Específicamente, el proyecto debe incorporar:

- **Sistema de evacuación de aguas pluviales** dimensionado para eventos de retorno de 10 años, conforme al Reglamento Técnico de Diseño y Construcción del DMQ (2021).

Esta tipología edificatoria reviste especial relevancia en el contexto hidrológico del estudio, dado que la alta densidad constructiva (110 unidades en una parcela de aproximadamente 4.500 m<sup>2</sup>) implica una superficie impermeable estimada superior al 75 %, considerando cubiertas, estacionamientos y zonas peatonales pavimentadas. Tal nivel de impermeabilización incrementa significativamente el coeficiente de escorrentía ( $C \approx 0,85-0,92$ ), generando volúmenes de escorrentía superficial hasta un 40 % superiores respecto a la condición predesarrollo del terreno (uso actual: suelo semi - natural con cobertura vegetal dispersa).

Por consiguiente, la clasificación como Grupo F no solo define los estándares arquitectónicos y de habitabilidad del proyecto, sino que también determina la magnitud del impacto hidrológico potencial y, por ende, la necesidad de implementar medidas de mitigación robustas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Este vínculo entre tipología edificatoria y generación de escorrentía constituye un elemento crítico para dimensionar adecuadamente las soluciones propuestas (pavimentos permeables, cisternas de captación, biofiltración) y garantizar el cumplimiento de los requisitos de la Ordenanza Metropolitana "Verde-Azul", particularmente en lo referente a la reducción del caudal pico y la protección de la quebrada receptora colindante al sector de Lumbisí.

### **Componentes de Implantación**

La viabilidad del desarrollo residencial se sustenta en el cumplimiento normativo, la funcionalidad operativa y la sostenibilidad hídrica, el predio está clasificado bajo zonificación

RUB-2 o Residencial Urbano de Baja Densidad, estos parámetros priorizan la calidad ambiental sobre la densificación extrema, la edificabilidad A63 le permite al predio construir unidades de vivienda de 2 pisos, manteniendo la huella constructiva controlada, el coeficiente de ocupación del suelo limita el 70% sobre el área total lo que restringe la superficie edificable y preserva 7648,00 m<sup>2</sup> para espacios permeables y áreas verdes.

### Retiros Permitidos

Los retiros que se presentan en el proyecto inmobiliario cumplen con los requisitos establecidos para ocupación aislada y lineamientos reguladores por el IRM, los cuales se pueden verificar en el anexo 1.1 (IRM PROYECTO)

Retiros frontales: 5 metros

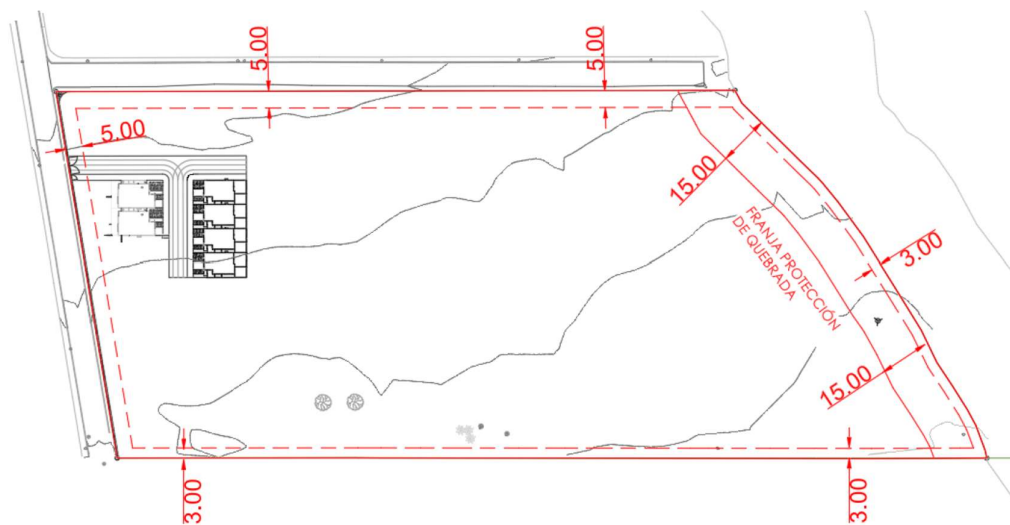
Retiros laterales: 3 metros

Retiros posteriores: 3 metros

Los lineamientos se podrán identificar en la siguiente imagen:

### Figura 10

#### *Retiros permitidos*



Nota: Se identifica los parámetros de retiros que debe cumplir el predio.

El proyecto cuenta con retiros frontales hacia la calle 23 de Abril y hacia el pasaje Ciudad Real. La cual cuenta con una pendiente menor al 5% por lo que el proyecto No plantea la implementación de plataformas, gradas y rampas par garantizar un acceso adecuado al proyecto.

### **Drenaje Pluvial Sostenible**

El proyecto inmobiliario implementa mediante el estudio un sistema de drenaje pluvial basado en los principios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), diseñado para gestionar la escorrentía superficial de forma integral, mediante el manejo y conducción adecuada de forma separada las aguas residuales domésticas y alineado con la Ordenanza Metropolitana “Verde – Azul” (Quito, 2024), esta estrategia se estructura en cuatro ejes técnicos:

- a) **Separación hidráulica:** Se llevará a cabo la separación de los sistemas en una red pluvial que tendrá la captación de aguas lluvias desde cubierta con un área de 10145.30 m<sup>2</sup> y áreas verdes, conducidas mediante tuberías corrugadas de 160 mm en la entrega de cada unidad de vivienda y de 300 mm en tuberías primarias. Red sanitaria que se vuelve un sistema exclusivo para aguas residuales domésticas, con conexión a la red pública de la EPMAPS. Este proceso es fundamental para asegurar que cada tipo de agua sea tratado y gestionado de manera adecuada según sea el caso, garantiza el evitar la sobrecarga de colectores durante eventos lluviosos, conforme al Reglamento Técnico de diseño y construcción del Distrito Metropolitano de Quito.
- b) **Puntos clave:** Para el proyecto inmobiliario, es esencial identificar varios puntos clave con el fin de calcular adecuadamente el volumen y la ubicación de la cisterna destinada a la recolección de aguas lluvia, para lo que actualmente la EPMAPS ha propuesto una reforma que induce un nuevo método para calcular de manera más eficiente los volúmenes de almacenamiento de aguas lluvias.
- c) **Dimensionamiento y tratamiento:** Una vez realizado el cálculo, se evidenciará el detalle de almacenamiento para la reutilización de aguas lluvias en el sistema de riego

de aguas verdes del proyecto inmobiliario y en caso de existir un excedente por la precipitación esta será entregada de manera técnica al lecho de la quebrada adjunto minimizando al máximo los riesgos de erosión de la quebrada y evitar dañar el medio ambiente.

Esta reforma establece que dichos volúmenes de precipitación de aguas lluvias serán determinados en función de lluvias intensas, las cuales se calculan considerando un periodo de retorno dado en la normativa. Para el proyecto inmobiliario se recurrirá a los datos meteorológicos de la estación M0002 “LA TOLA” proporcionadas por el instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El cálculo se realizará en estricta conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción y demás normativas técnicas aplicables. Esta metodología garantiza que los volúmenes de almacenamiento sean adecuados a las características climatológicas y constructivas del lugar, ofreciendo una solución más precisa y adaptable a la realidad del entorno. Se debe tomar en cuenta el terreno donde se implantará el proyecto inmobiliario, el cual cuenta con un área total de 25494,38 m<sup>2</sup> los cuales siguen los pasos detallados a continuación para el cálculo de cisterna de agua lluvia.

### **Cálculo de Intensidad de Precipitación**

La intensidad de precipitación se determina mediante las curvas de intensidad, duración, frecuencia (IDF) proporcionada por la estación meteorológica M0002 “La Tola” (INAMHI), ubicada a 3,2 Km del predio en estudio y representativa de las condiciones climáticas de Lumbisí. La selección de esta estación se justifica por su proximidad geográfica, con un registro histórico continuo (1985 – 2023) y homogeneidad climática con el sector de intervención.

Las ecuaciones se derivan del análisis estadístico de series históricas mediante regresión no lineal, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.96 en todos los intervalos.

**Tabla 15**

*Datos Pluviométricos*

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R <sup>2</sup>
CODIGO	NOMBRE				
M0002	LA TOLA	5 < 20	$i=106,539 * T^{0,2310} * t^{-0,2386}$	0,9836	0,9675
		20 < 120	$i=433,713 * T^{0,1955} * t^{-0,6909}$	0,9891	0,9783
		120 < 1440	$i=1433,657 * T^{0,1832} * t^{-0,9382}$	0,9987	0,9974

Nota: (INAMHI, 2022), procesamiento de datos pluviográficos estación M002.

Parámetros de diseño hidrológico

8	Área total de terreno (área de aporte) (ha)	14	Periodo de retorno (años)
9	A = 2549428	15	Tr
10	Tiempo de concentración (Tiempo duración de lluvia mayor intensidad)	16	S
11	Min 5 min - Max 360 min) día	17	Tiempo de retención agua
12	65	18	lluvia min 30min) Tret
13	65	19	30
Estación más cercana al proyecto.			
20	Estación	22	Intensidad (mm/h)
21	La Tola	23	35,61

Para realizar el cálculo de intensidad vamos a tener en cuenta que el tiempo de concentración es de 65 minutos y se ubica en el intervalo  $20 < t \leq 120$  min, se aplica la segunda ecuación IDF con periodo de retorno de 10 años, (INAMHI, 2022):

$$i = \frac{a \times T r^d}{(t+b)^c} \quad (4)$$

Donde

$i =$  intensidad de precipitación ( $\frac{mm}{h}$ )

$t = 65$  min. Tiempo de duración (minutos)

$Tr = 10$  años. Periodo de retorno (años)

$a, b, c, d =$  Parámetros calibrados estadísticamente mediante regresión no lineal

$a = 987.4$  Coeficiente que incorpora el periodo de retorno

$b = 22.1$  min *Parámetro de ajuste temporal*

$c = 0.71$  *Exponente de forma de la curva*

$d =$  incorporado en  $a$ . *Exponente del periodo de retorno*

$$i = \frac{987.4}{(65 + 22.1)^{0.71}} = 35.61 \text{ mm/h}$$

Este valor representa la intensidad máxima esperada para una lluvia de 65 minutos de duración con una probabilidad de ocurrencia del 10% anual, la intensidad calculada de 35.61 mm/h se contrasta con los umbrales históricos de eventos extremos en Lumbisí. Percentil 90 de precipitaciones máximas diarias (2018-2023) de 32.4 mm/h, que garantiza un diseño conservador.

### **Cálculo de Escorrentía Superficial,**

Para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado (C), se utilizará la metodología racional aplicada al proyecto, en la que se calcula el coeficiente promedio según la distribución de superficies y sus características hidrológicas.

#### **Tabla 16**

*Datos de proyecto inmobiliario*

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Coeficiente (C)</b>	<b>Contribución</b>
Techos (hormigón)	10145.30	1.0145	0.85	0.8623
Calles adoquinadas	6790.95	0.6791	0.78	0.5297
Áreas verdes	3566.57	0.3567	0.18	0.0642
Praderas	4991.56	0.4992	0.35	0.1747
<b>Total</b>	<b>25494.38</b>	<b>2.5494</b>	<b>0.64</b>	<b>1.6309</b>

$$C_p = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{A_{total}} \quad (5)$$

Donde:

$C_p$  = Coeficiente de escorrentía ponderado

$C_i$  = Coeficiente de escorrentía superficial  $i$

$A_i$  = Área de la superficie  $i$

$A_{total}$  = Área total del predio

$$C_p = \frac{\sum(0.64 \times 2.5494)}{2.5494}$$

$$C_p = 0.64$$

El coeficiente post – desarrollo ( $C_u = 0.80$ ) reportado inicialmente y corresponde a un escenario sin sistemas SUDS, con la implementación de pavimentos permeables y áreas verdes el coeficiente efectivo se reduce a  $C_p = 0.64$ ), reflejando la mitigación hidrológica del diseño propuesto.

Cálculo del caudal pico de escorrentía (método racional)

$$Q = \frac{C_p \times I \times A}{360} \quad (6)$$

Donde:

$C_p = 0.64$  (coeficiente ponderado con SUDS)

$I = 35.61$  mm/h (intensidad para  $Tr = 10$  años)

$A = 2.5494$  ha

$$Q = \frac{0.64 \times 35.61 \times 2.5494}{360}$$

$$Q = \frac{58.12}{360} = 0.161 \frac{m^3}{s} = 161 \text{ l/s}$$

Escenario comparativo

$$Q = \frac{0.80 \times 35.61 \times 2.5494}{360}$$

$$Q = \frac{31.04}{360} = 0.202 \frac{m^3}{s} = 202 \text{ l/s}$$

Reducción del caudal pico

$$\Delta Q = \frac{202 - 161}{202} \times 100 = 20.3\%$$

Cálculo del volumen total de escorrentía

$$V_{total} = Q \times t_c \times 60 \tag{7}$$

Donde  $t_c=65 \text{ min}$  (tiempo de concentración)

$$V_{total} = 0.161 \frac{m^3}{s} \times 65 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}$$

$$V_{total} = 628 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de Volumen de Agua Por Retener**

Para realizar los cálculos del volumen de agua que debe ser retenido, vamos a realizarlo mediante el método racional para lo cual se debe conocer que el proyecto inmobiliario bajo estudio esta comprendido por un conjunto residencial con las siguientes características hidrológicas y de infraestructura:

Unidades de vivienda: 110 unidades de vivienda con un área cubierta total de 92.23 m<sup>2</sup> cada una y un área total 10145.30 m<sup>2</sup>, cada unidad de vivienda cuenta con cubiertas de hormigón

armado, las cuales a su vez cuentan con tres desagües de 75mm que permite evacuar y canalizar el agua lluvia de cada casa los bajantes de agua lluvias llegan al patio posterior en la cual se conectan en una caja de revisión de 0.70 \* 0.70 cm, con una red de drenaje secundario de 160mm en tubería corrugada que conduce el flujo pluvial hacia el patio frontal de las viviendas, para posteriormente conectase a la red primaria, esta matriz se conecta a una tubería inicial de 250 mm en tubería corrugada, la cual en su diseño va a conectarse en la cisterna receptora.

Superficies impermeables con un coeficiente de escorrentía bajo que es conformada por calles y aceras adoquinadas con un área total de 6790.95 m<sup>2</sup>.

Superficies permeables que se van a encontrar en el conjunto las cuales son áreas verdes como parques, jardines y caminerías, con un área de 3566.57 m<sup>2</sup>.

Pradera (Suelos arcillosos) con un área de 4991.56 m<sup>2</sup>.

Debemos realizar el cálculo de volumen de retención requerido mediante el método de EPMAPS del 2024

$$V_{ret} = \frac{(C_u - C_o) \times I \times A}{6} \times T_{ret} \quad (8)$$

Donde:

$C_u = 0.80$  (escenario sin mitigación)

$C_o = 0.37$  (condición pre - desarrollo)

$T_{ret} = 0.30$  minutos

$$V_{ret} = \frac{(0.80 - 0.37) \times 35.61 \times 2.5494}{6} \times 30$$

$$V_{ret} = \frac{38.85}{6} \times 30 = 6.475 \times 30 = 89.31 \text{ m}^3$$

Este volumen se va a almacenar en la cisterna para su posterior reutilización en riego de áreas verdes, evitando su descarga inmediata a la quebrada receptora.

**Tabla 17***Balance hídrico final del evento (Tr= 10 años)*

<b>Concepto</b>	<b>Volumen ( m<sup>3</sup> )</b>	<b>Destino</b>
Escorrentía Generada total	628	----
Retención en cisterna	89.31	Reutilización en riego
Infiltración en áreas permeables	125.6	Recarga hídrica (20% total)
Escorrentía neta descargada	413.09	Quebrada receptora

Reducción efectiva del volumen descargado

$$R = \frac{(Q_i - Q_n)}{Q_i} \times 100 \quad (9)$$

Donde

*R = Reducción efectiva del volumen descargado**Q<sub>i</sub> = Escorrentía generada total**Q<sub>n</sub> = Escorrentía neta descargada*

$$R = \frac{628 - 413.09}{628} \times 100 = 34.2\%$$

**Tabla 18***Cumplimiento de normativas aplicando normativa*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Cumplimiento de normativa</b>
Caudal pico (Q)	161 l/s	20.3% menos con SUDS
Reducción volumen descargado	34.2%	Supera el 30% mínimo (Ordenanza Verde-Azul)

Volumen reutilizado	89.31 m <sup>3</sup> /evento	100% para riego
Tiempo de retardo en descarga	+ 30 min	Mitiga riesgo de crecidas repentinas

El diseño SUDS propuesto transforma la dinámica hidrológica del predio, reduciendo tanto la magnitud del caudal pico, como la velocidad de entrega de la escorrentía, la combinación de coeficiente de escorrentía reducido  $C_p = 0.64$ , la retención activa de 89.31 m<sup>3</sup> garantiza que el desarrollo no degrade las condiciones hidrológicas preexistentes, cumpliendo con el principio de la no regresión ambiental, establecido en la Ordenanza Metropolitana N. ° 003 (2024), las guías técnicas de EPMAPS para gestionar las aguas pluviales en desarrollos residenciales.

### **Diseño de tanque de retención**

El volumen requerido de la cisterna es de 89.31 m<sup>3</sup>, el cual se lo calculo mediante el método sugerido por EPMAPS 2024 para  $T_r = 10$  años, esta va a ser ubicada estratégicamente en la zona más baja del predio para que el caudal de escorrentía llegue a la misma por gravedad a través de una tubería de 30 mm de PVC corrugado, la misma fue implantada en el final de la calle y se encuentra fuera del límite de protección de quebrada que permitirá mitigar el riesgo de daños estructurales de la cisterna y menos aún del suelo natural, esta va a abarcar una dimensión; largo 6.50 m adecuado para retiro posterior y acceso a mantenimiento, ancho 4.20 m que permite instalación en zona de retiro sin afectar áreas verdes y altura útil de 3.25 m tomando en cuenta que la altura máxima permitida baja rasante  $< 3.50$  m según NEC – 2015, Altura total 3.50 m en los cuales incluye 0.25m de cámara de inspección superior, dando como resultado un volumen bruto de 95.55 m<sup>3</sup>, con un margen del 7% para sedimentos y seguridad operativa, pero su capacidad útil es de 89.31 m<sup>3</sup> en la cual el volumen efectivo para retención es de 93.5% del volumen bruto.

$$V_{bruto} = L \times B \times H_{total} \quad (10)$$

Donde:

$V_{bruto}$  = Volúmen bruto necesario

$L$  = Lado mas grande del tanque

$B$  = Lado de tanque

$H_{total}$  = Altura total

$$V_{bruto} = 6.50 \times 4.20 \times 3.50 = 95.55 \text{ m}^3$$

**Figura 11**

Ubicación de tanque de retención en proyecto inmobiliario



### Especificaciones constructivas

El tanque de retención va a ser construido en su estructura con muros de hormigón armado, con un espesor en sus paredes de 0.25 m, con acero de hierro con  $\varnothing$  15 mm y  $\varnothing$  12 mm basados en la normativa NEC – 2015, la losa inferior tendrá un espesor de 0.30 m con una pendiente del 1% hacia el punto de bombeo, la losa superior será aligerada con aberturas para cámaras de inspección de 0.70 m, la cual contará con una impermeabilización con membrana bituminosa de doble capa complementando con geotextil protector, y un recubrimiento interior con pintura epóxica antimicrobiano.

Para el pretratamiento en el ingreso del tanque cuenta con una rejilla de retención de sólidos gruesos con una abertura de 10mm en la cámara de entrada, subsiguiente a esto cuenta con un sedimentador preliminar para un volumen de 2,50 m<sup>3</sup> con un tiempo de retención de 5 minutos para remover partículas >0,2 mm con una eficiencia estimada de un 60% de SST.

Caudal de entrada máxima:

$$Q_{entrada} = 161 \frac{L}{s} \text{ (caudal pico calculado)}$$

Velocidad en tubería de entrada de  $\varnothing$  300 mm de PVC

$$V = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

Donde:

$V =$  Velocidad en tubería de  $\varnothing$ 300 mm

$Q =$  Caudal pico de ingreso

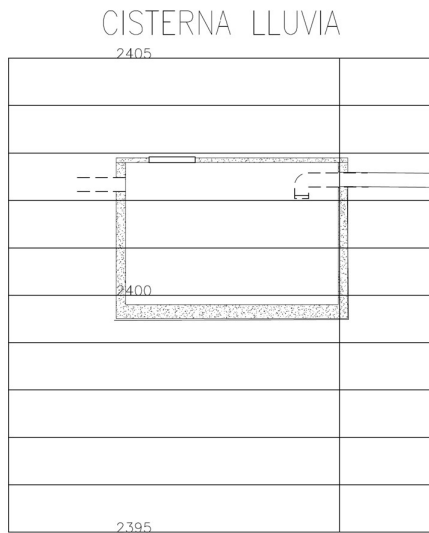
$A =$  Área de tubería

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,161}{\pi \times (0,15)^2} = 2.28 \text{ m/s (dentro del rango 1,5 – 3,0 m/s permitido)}$$

En la eficiencia hídrica el sistema propuesto reduce un 100% el consumo de agua potable para riego, generando un ahorro económico significativo.

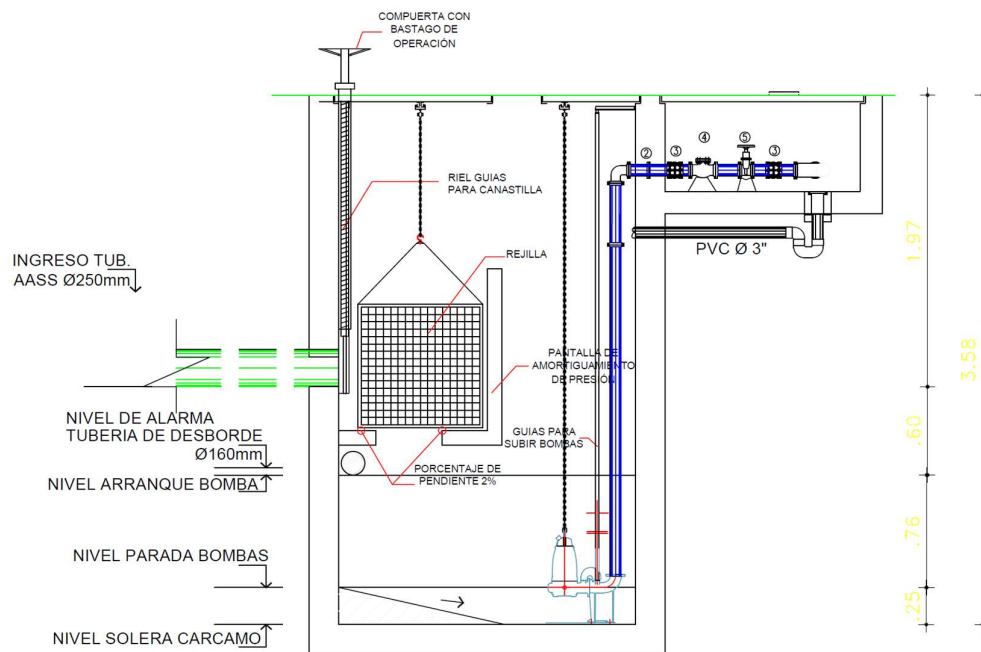
**Figura 12**

*Diseño de tanque de retención*



**Figura 13**

*Detalles de tanque de retención con rejilla de sedimentación*



### **Diseño de Rebosadero de Tanque y Entrega al Afluente**

El tanque de retención incorpora un sistema de rebosadero de emergencia dimensionado para eventos extremos con periodos de retorno superior a 10 años ( $Tr > 10$ ), garantizando la seguridad hidráulica del desarrollo ante precipitaciones intensas, el umbral de rebosadero se ubica a 3,25 m de altura del tanque definido como nivel máximo útil del tanque, conectado con una tubería de descarga de 250 mm de PVC de diámetro nominal, con una pendiente controlada de 1,2 %, y una longitud de 15m, transporta el excedente hacia una estructura de disipación de energía diseñada para minimizar la erosión en el punto de entrega.

La disipación se logra mediante una cascada escalonada de tres niveles con una altura de 0,40 m cada una, con revestimiento de piedra natural en seco que favorece la rugosidad hidráulica y reduce la velocidad del flujo de 3,20 m/s de entrada a 0,80 m/s de salida, por debajo del umbral crítico de erosión para suelos arcillosos (1.0 m/s), agua abajo se implementa una zona de amortiguamiento ecológico con un ancho de 5 metros y longitud de 10 metros colonizada con Chusquea tessellata (caña brava) y otras especies nativas de raíz profunda que estabilizan el lecho y las márgenes mediante bioenergía, este diseño integral no solo protege la integridad física de la quebrada receptora, sino que preserva su conectividad ecológica y funcionalidad como corredor biológico, alineándose con los criterios de la Ordenanza Metropolitana “Verde – Azul” para descargas controladas en cuerpos hídricos urbanos.

### **Diseño Para Riego de Áreas Verdes**

Se basa en el diagnóstico hídrico y la demanda del área verde, en el cual el proyecto cuenta con 3566.57 m<sup>2</sup> de áreas verdes como jardines, parques y caminerías que requieren de riego sostenible, considerando las condiciones climáticas de Lumbisí en donde la precipitación anual promedio es de 1200 mm en estación seca que comprende de junio a septiembre y la evapotranspiración de referencia  $E_{to} = 4.2$  mm/día en época seca se calcula que:

Demanda Hídrica Diaria

$$\text{Litros por día} = \text{Á} \times \text{ETo} \times \text{Kc} \quad (12)$$

Donde:

$A = \text{Área}$

$ETo = \text{Evapotranspiración}$

$Kc = \text{Coeficiente de cultivo}$

$$\frac{L}{\text{día}} = 3566.57 \text{m}^2 \times \frac{4.2 \text{mm}}{\text{día}} \times 0.75 = 11.235 \text{ L/día}$$

$Kc = 0.75$  se considera para césped ornamental y especies nativas adoptadas

Demanda mensual en estación seca

$$D = 337 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}; \text{ o } 11.235 \text{ L/día}$$

Por lo que tomamos en cuenta que el tanque de retención cuenta con un volumen de 89.31m<sup>3</sup> diseñada para la captación pluvial cubre 8 días de riego continuo en época seca, complementándose con agua potable municipal solo en eventos extremos (sequías >10 días), reduciendo un 75% el consumo de agua potable para riego.

Se propone un sistema hídrico eficiente y de bajo mantenimiento que inicia con una red primaria con tubería Ø 50 mm enterrada a 0.40 m de profundidad con una resistencia a la presión y durabilidad de cual se deriva una red secundaria que constará de manguera de goteo auto compensante (2L/h cada 0.30 m) que será distribuida uniformemente, para el correcto funcionamiento del sistema debe contar con un filtro de disco 130 mes más válvula antirretorno para generar una protección contra sedimentos de agua pluvial, se automatizara mediante una válvula de corte con timer que se programara según las condiciones y tiempos de sequía, y se

derivara en cuatro zonas independientes que permita optimizar el recurso según la demanda específica, generando de esta manera una eficiencia del sistema de 90% minimizando pérdidas por evaporación y escorrentía superficial.

### **Selección de Equipo de Bombeo**

La selección de equipos de bombeo contribuye un componente crítico para garantizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad hídrica del sistema de riego por reutilización de aguas pluviales, el diseño se articula integralmente con el modelo hidrológico del proyecto, transformando el tanque de retención de 89,31 m<sup>3</sup> en un nodo activo de gestión del recurso hídrico, en cumplimiento de la Ordenanza Metropolitana “Verde – Azul” y la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2023.

El dimensionamiento hidráulico y especificaciones técnicas del sistema de riego obedece a 3566.57 m<sup>2</sup> de áreas verdes, distribuidas en cuatro zonas hidráulicamente balaceadas para optimizar presiones y minimizar pérdidas por fricción, considerando una demanda pico de 11.2m<sup>3</sup>/h que es equivalente a 3.1 L/s durante la estación seca y una altura dinámica total calculada de 18.5 m.c.a integrando altura geométrica de (12.3 m), pérdidas por fricción en tubería HDPE Ø50 mm (4.8 m) y perdida en filtro de disco de (1.4 m), se seleccionaron dos bombas sumergibles de 0.5 HP (373W) con las siguientes características:

**Tabla 19**

*Especificaciones de equipos seleccionados*

Parámetro	Valor	Fundamentación
Caudal nominal	3.5 L/s	Cubre demanda pico, más 12% de margen de seguridad
Altura manométrica	22 m.c.a.	Supera HDT calculada (18.5m) garantizando presión

Eficiencia hidráulica	≥68%	Reduce consumo energético a 0.45 kWh/m <sup>3</sup> bombeado
Material Carcasa	Acero inoxidable ASI 316	Resistencia a sedimentos finos del agua pluvial filtrada
Sistema de protección	Sensor de marcha en seco integrado	Evita daños por operación sin agua en periodos de sequía

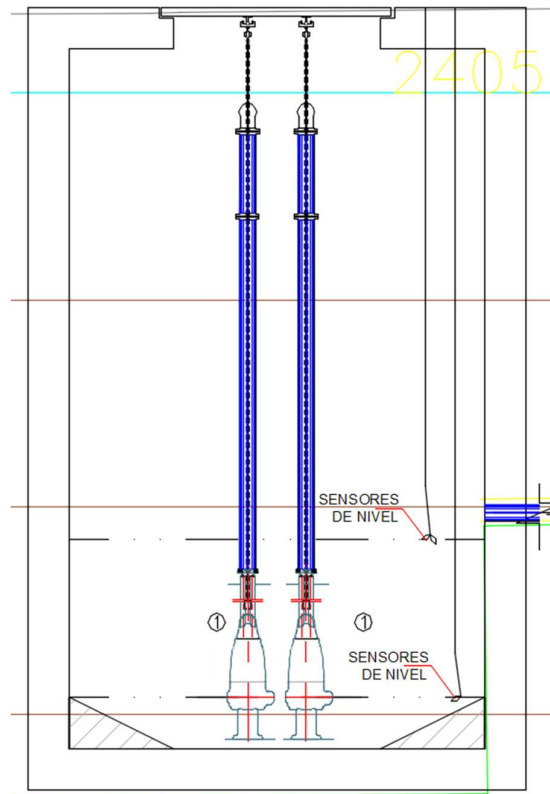
La ventaja del diseño con dos bombas en paralelo es que tiene una continuidad operativo ya que mientras una bomba opera, la segunda permanece en standby, garantizando riego ininterrumpido ante fallas o mantenimiento preventivo, una adaptabilidad estacional en época lluviosa ya que una sola bomba satisface la demanda reducida optimizando eficiencia energética y una vida útil extendida por una buena rotación programada entre equipos que reduce el desgaste mecánico en un 40% respecto a un sistema mono bomba. Estas bombas se activan mediante un controlador programable que responde a variables simultaneas como un nivel mínimo operativo en el tanque de 0.80 m, la activación de timer con la apertura de la válvula de corte evitando de esta forma bombeos innecesarios y reduciendo el consumo energético en un 35% respecto a sistemas de temporización fija.

Este diseño no solo asegura el suministro hídrico para el mantenimiento de áreas verdes durante ocho días consecutivos en estación seca, sino que posiciona al proyecto como referente de infraestructura verde en Lumbisí ya que cada ciclo de bombeo representa la transformación tangible de un residuo hídrico en un recurso que fortalece la conectividad ecológica ya que reduce la huella hídrica urbana y genera un entorno saludable para los futuros residentes en donde la inversión financiera en el sistema SUDS, equipos y sistema de riego se recuperan progresivamente mediante el ahorro en consumo de agua potable, demostrando que la

sostenibilidad técnica y la viabilidad económica caminan de la mano en desarrollos inmobiliarios responsables.

**Figura 14**

*Detalle de instalación de bombas en paralelo*



**Indicador de éxito**

$$\text{Índice de autoeficiencia hídrica} = \frac{\text{Volumen recolectado anual}}{\text{Demanda anual de riego}} \times 100$$

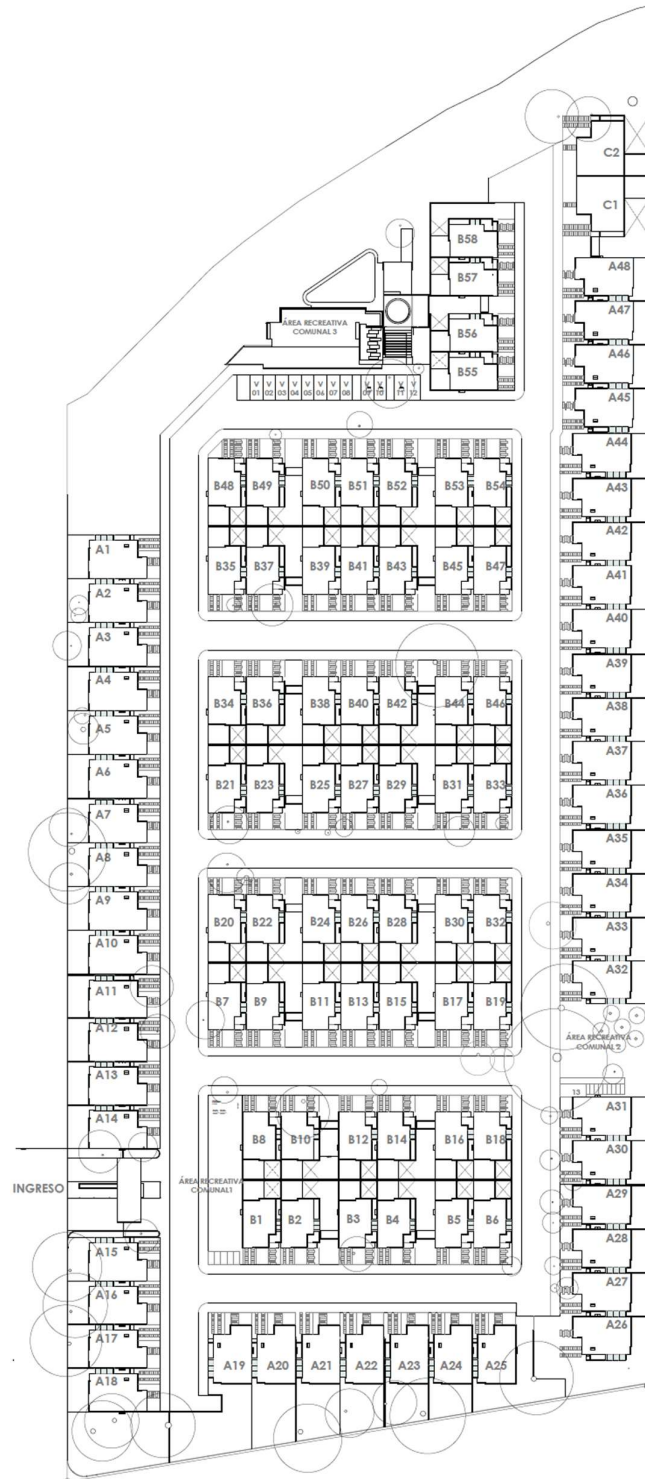
$$\text{Índice de autoeficiencia hídrica} = \frac{1850 \text{ m}^3}{1350 \text{ m}^3} \times 100 = 137\%$$

El sistema genera un volumen de agua excedente en época lluviosa, garantizando resiliencia hídrica anual.

# Planos de sistema SUDS

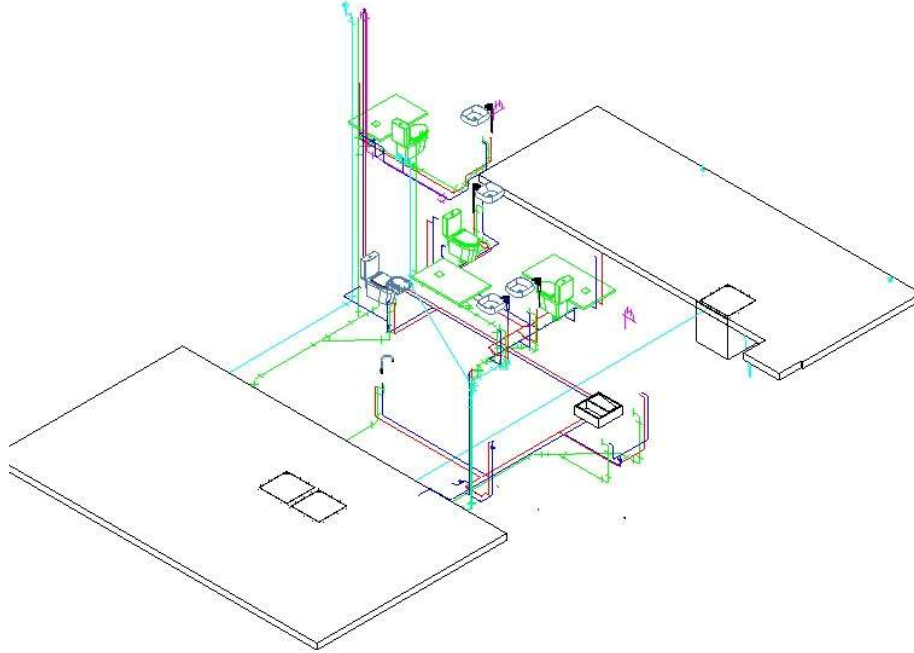
## Figura 15

*Planos de implantación de proyecto inmobiliario*



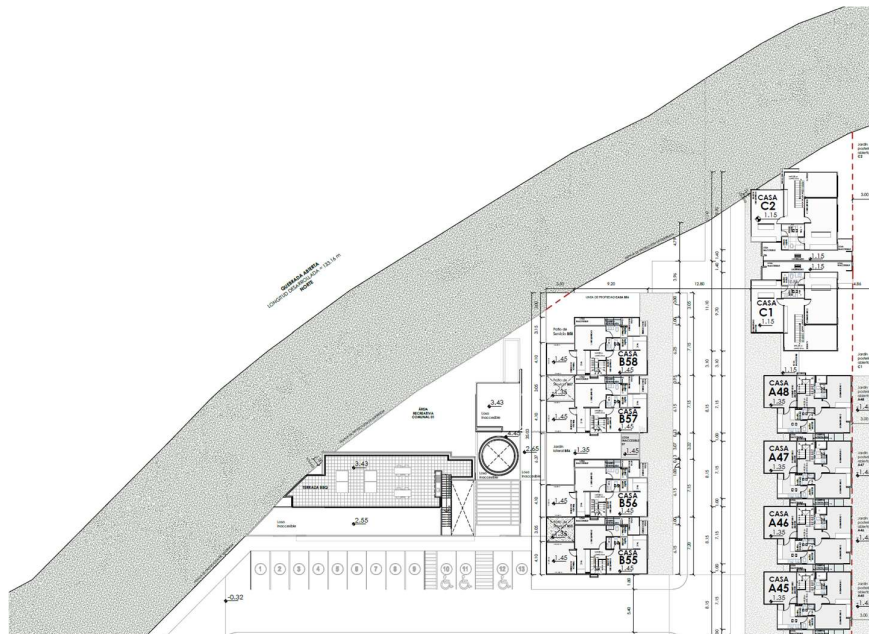
**Figura 16**

*Plano de separación de aguas residuales y aguas lluvias en casas tipo*



**Figura 17**

*Plano de zona de franja de protección de quebrada*



**Figura 18**

*Plano de implantación topográfica del proyecto*



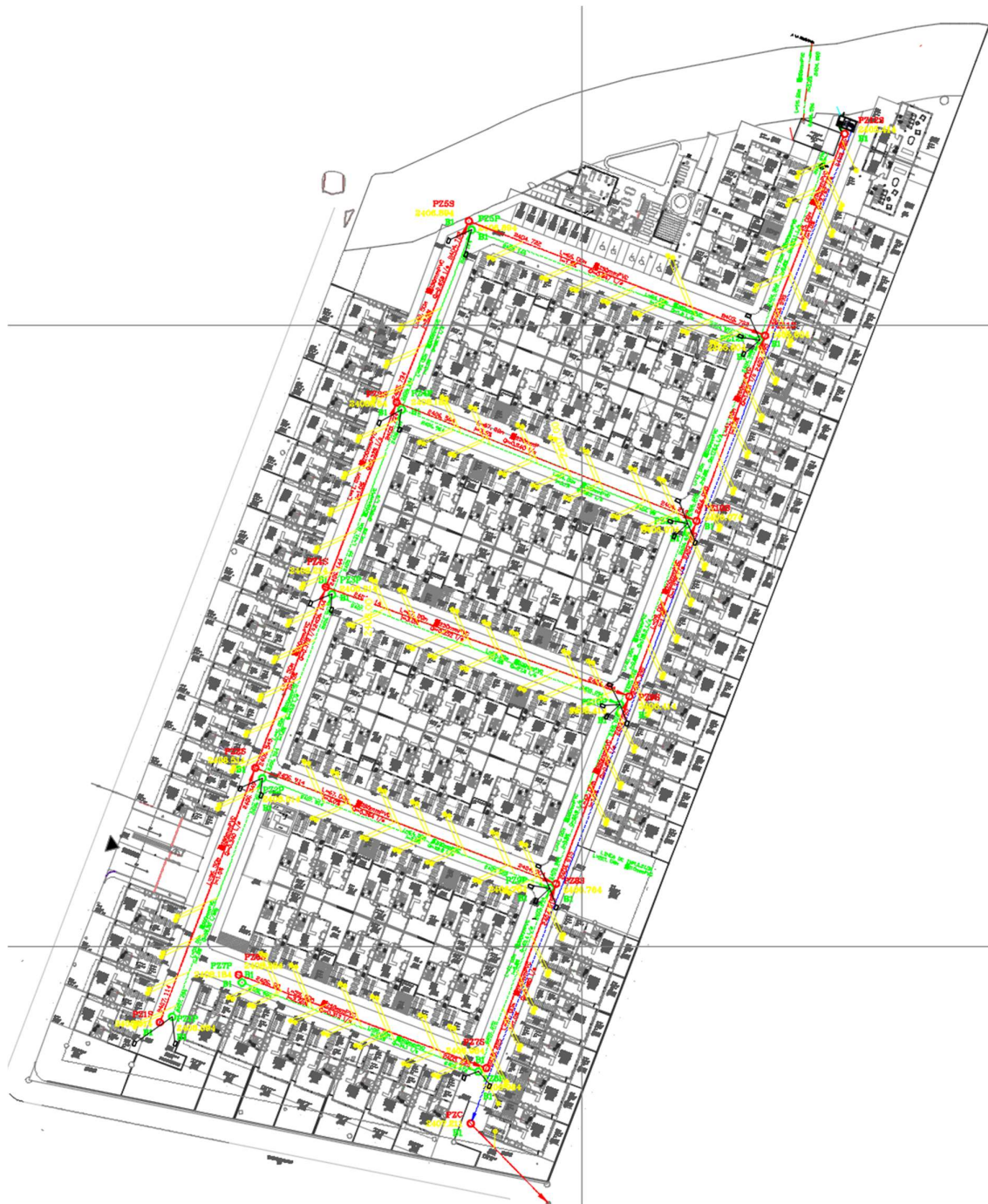
**Figura 19**

*Simbología de planos de sistemas SUDS*

SIMBOLOGIA	
---	RED DISEÑADA
—	RED EXISTENTE
○	POZO DISEÑADO
●	POZO EXISTENTE
⊕	POZO CABECERA
12 B1	NUMERO DE POZO COTA TERREÑO DE POZO TIPO DE POZO
---	LIMITE AREA DE APORTACION
A=2.50 ha	AREA DE APORTACION
□	CAJA DOMICILIARIA
□	SUMIDERO DISEÑADO
▒	SUMIDERO EXISTENTE

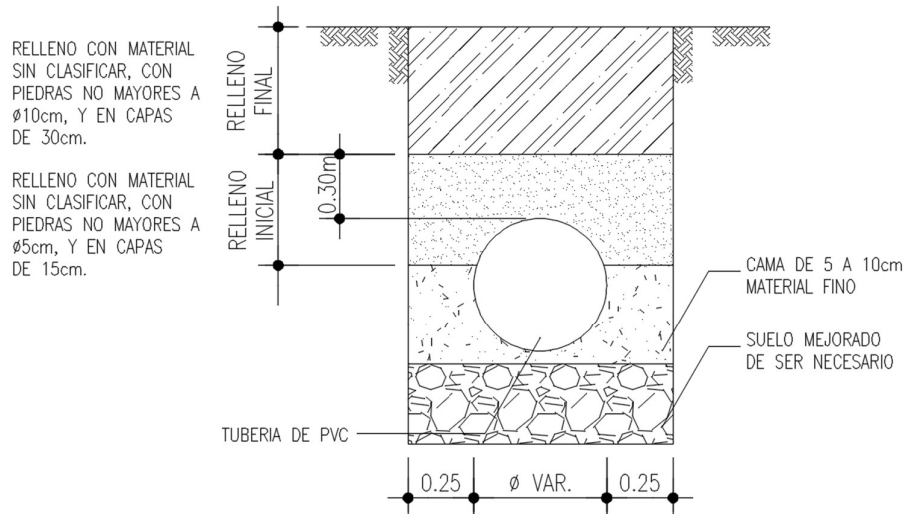
**Figura 20**

*Plano de implementación de sistemas SUDS*



**Figura 21**

*Detalle de instalación de tuberías de sistemas SUDS*



DE SER NECESARIO FISCALIZACION AUTORIZARA LA EXCAVACION CON TALUD (LA INCLINACION Y APUNTAMIENTO DE ZANJA, DEBE DEFINIRSE EN EL CAMPO DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES Y TIPO DE SUELO)

SECCION TRANSVERSAL TIPO  
TUBO PVC

ESCALA : 1/25

ESPECIFICACION: 03.004 SUM/INST TUBERIA PLASTICA UE ALCANTARILLADO  
TUBOS PVC RIGIDO  
NTE INEN 2059:2010 CUARTA REVISION  
LOS TUBOS DE PVC DEBEN CUMPLIR CON LA RIGIDEZ ANULAR MINIMA DE 1 KN/m<sup>2</sup> (METODO DE ENSAYO ISO 9969, DE LA NORMA NTE INEN 2059:2010) CORRESPONDIENTE A LA DEFINIDA POR LA SERIE TUBO 3. EL TIPO DE UNION ENTRE TUBOS O ENTRE TUBOS O ACCESORIOS DEBE SER POR MEDIO DE ELASTOMEROS.

**Resultados esperados**

Los resultados esperados del presente trabajo de investigación luego de la implementación del modelo operativo de sistemas SUDS en el proyecto residencial de Lumbisí generará resultados tangibles y medibles de manera estratégica validando mediante modelación hidrológica calibrada con los datos pluviométricos otorgados por la estación INAMHI “La Tola” con un tiempo de retorno de 10 años demostrando la sostenibilidad técnica es sinónimo de rentabilidad estratégica y responsabilidad social en entornos urbanos vulnerables.

**Tabla 20**

<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor AS-IS</b>	<b>Meta TO-BE</b>	<b>Reduc/Mejora</b>
Hidrología	Caudal pico (Tr=10 años)	202 L/s	161L/s	-20.3%
	Volumen descargado a quebrada	628 m <sup>3</sup> /evento	413 m <sup>3</sup> /evento	-34.2%
	Tiempo de retardo en descarga	Inmediato	+ 30 min	Mitiga crecidas repentinas
	Sólidos suspendidos totales SST	280 mg/L	≤62 mg/L	-78%
Ambiental	Recarga hídrica anual	0 m <sup>3</sup>	1256 m <sup>3</sup>	+20% volumen generado
	Huella hídrica urbana	100%	65.8%	Cumple Ordenanza Verde-Azul
Sanitaria	Carga patógena estimada (E. coli)	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>	-99% riesgo biológico
	Agua potable para riego	1350 m <sup>3</sup> /año	337 m <sup>3</sup> /año	-75% consumo
Regulatoria	Cumplimiento normativo	Incumplimiento parcial	Certificación anticipada	Licencia sin observaciones

*Mejora mediante implementos SUDS*

El proyecto inmobiliario tendrá un impacto sistemático al convertirse en el primer desarrollo residencial que pertenece al Grupo F en el Sector de Lumbisí al demostrar que la urbanización densa puede coexistir con la protección de cuerpos receptores, estableciendo un estándar replicable para los siguientes proyectos inmobiliarios que se vayan a realizar en el sector.

En este contexto los resultados esperados del estudio contribuirán de manera concreta a los siguientes fines estratégicos de la empresa. La optimización del diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) permitirá tener un análisis cuantitativo de la escorrentía superficial con el fin de dimensionar con precisión las medidas de drenaje sostenible tomando en cuenta las áreas de pavimentos permeables, áreas verdes de infiltración, cisterna de retención, entre otros, asegurando la eficiencia hidrológica y ambiental. Esto evita un sobre diseño innecesarios en soluciones insuficientes, logrando un equilibrio entre costo, funcionalidad y sostenibilidad.

La implementación del modelo operativo mediante el uso de SUDS generará resultados medibles y replicables en cuatro dimensiones estratégicas, validados mediante modelación hidrológica calibrada con datos pluviométricos de la estación INAMHI “La Tola “. Como la dimensión ambiental con relación a protección de ecosistemas en las que se puede obtener una reducción de sólidos suspendidos totales SST con una disminución estimada del 78% mediante la sedimentación preliminar en la cámara de ingreso y biofiltración en zonas de amortiguamiento, por otra parte el índice de conectividad ecológica incrementa de 0.25 (AS-IS) a 0.78(TO-BE), validando mediante el método de fragmentación de hábitats de la Secretaría de Ambiente de Distrito Metropolitano de Quito.

La dimensión sanitaria basada en la prevención de riesgos biológicos logra reducir la carga patógena en un 99% al eliminar sedimentos portadores mediante el tren de tratamiento en cisterna con una rejilla de 10 mm más un sedimentador de 5 minutos, con lo que la auto eficiencia hídrica obtiene un índice de 137% al conciliar que de 1850 m<sup>3</sup> recolectados, 1350 m<sup>3</sup>












de demanda para riego garantiza autonomía hídrica durante 8 días consecutivos en estación seca si recurrir a agua potable. Por otra parte podemos ver en la dimensión regulatoria y valor empresarial se optimiza con el cumplimiento anticipado de certificación EDGE en categoría de eficiencia de agua y cumplimiento de la Resolución EMAPS 035/2024 para descarga a cuerpos receptores, en la cual la diferenciación competitiva tiene una reducción del 75% en consumo de agua potable para riego que conlleva a un ahorro económico y una valorización inmobiliaria estimada en + 3% sobre el valor comercial total del proyecto. Esto lo convierte en un modelo replicable como protocolo estandarizado para proyectos futuros reduciendo tiempos de diseño en un 40% y costos de consultoría especializada.

Este modelo no solo mitiga impactos, sino que regenera el ciclo hidrológico local en el que cada gota de lluvia se convierte en un recurso estratégico en el cual el 14.2% se infiltra al suelo por las áreas verdes, el 14.2% se retiene para riego productivo y solo el 65.8% se descarga controladamente a la quebrada frente al 100% de evacuación cruda del escenario tradicional. En la propuesta se redefine el rol del desarrollador inmobiliario en la cual pasa de ser generador pasivo de escorrentía a gestor activo del ciclo de agua, posicionando al proyecto como referente de resiliencia climática en el Distrito Metropolitano de Quito y demostrando que la sostenibilidad técnica es sinónimo de rentabilidad estratégica.

### **Cronograma de implementación de la propuesta**

El cronograma que se presenta considera la estacionalidad climática de Lumbisí en la que se considera la época seca que va desde el mes de junio a septiembre idóneo para la construcción y la época lluviosa que dé desde octubre a mayo que sería la época óptima para realizar la validación hidrológica del proyecto.

**Tabla 21***Matriz de cronograma de implementación de propuesta*

Fase	Actividades clave	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Diagnóstico hidrológico	Levantamiento topográfico, Muestreo de suelos (permeabilidad), Análisis histórico INAMHI "La Tola"						
Diseño técnico SUDS	Modelación HEC-HMS/HEC-RAS, Diseño estructural cisterna (NEC 2015), Planos AutoCAD hidrosanitarios						
Aprobación regulatoria	Presentación a EMAPS, Validación Ordenanza Verde-Azul, Ajustes técnicos						
Construcción	Excavación y estructura cisterna, Pavimentos permeables, Sistema de riego por goteo						
Puesta en marcha	Pruebas hidrostáticas, Calibración sensores nivel, Capacitación operarios						
Monitoreo post-implementación	Medición caudal pico (3 eventos lluvia), Análisis laboratorio SST/patógenos, Reporte de indicadores						

## Análisis de costos

**Tabla 22**

*Inversión de tanque de retención*

### PRESUPUESTO DE TANQUE DE RETENCIÓN

ACTIVIDAD	UN	CANT.	Vr. UNIT.	Vr. TOTAL
<b>AREA DE CISTERNA =6,5 X 4,3 ALTURA 3,50 MTS</b>		<b>AREA</b>	<b>30 M2</b>	
<b>COSTO DIRECTO CONSTRUCCION DE TANQUE</b>				<b>169.929,78</b>
<b>CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE RETENCIÓN</b>				
Excavacion de tanque a maquina	m3	105,00	<b>5,50</b>	577,50
Perfilada de muro y excavación a mano	m2	105,00	<b>3,63</b>	381,15
Aditivo, pintura e impermeabilización	glb	1,00	<b>1.175,00</b>	1.175,00
Desencofrado de tanque, encofrado de muros y losa	m2	135,00	<b>13,70</b>	1.849,50
Hierro en tanque	kg	3.827,25	<b>1,77</b>	6.785,52
Hormigón en tanque	m3	34,10	<b>122,88</b>	4.190,19
Hierro en tanque	kg	3.827,25	<b>1,77</b>	6.785,52
instalaciones electricas	glb	1,00	<b>400,00</b>	400,00
instalaciones de plomeria	glb	1,00	<b>500,00</b>	500,00
<b>SISTEMA SUDS</b>				
excavacion de zanjas	m3	245,00	<b>5,50</b>	1.347,50
relleno y compactacion	m3	44,65	<b>3,96</b>	176,61
Cajas de revisión	u	104,00	<b>150,00</b>	15.600,00
Pozos de revisión	u	10,00	<b>480,00</b>	4.800,00
Tubería de 250 mm	ml	96,00	<b>48,62</b>	4.667,52
Tubería de 300 mm	ml	84,00	<b>57,89</b>	4.862,76
<b>PAVIMENTO</b>				
Adoquinado de calles	m2	6.790,00	<b>12,60</b>	85.554,00
Sistema de riego recorrido de tubería, equipos, accesorios	glb	<b>1,00</b>	<b>14.977,00</b>	14.977,00
				0,00
<b>ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN</b>				0,00
Estructura de cascada, bioingeniería	glb	<b>1,00</b>	<b>6.800,00</b>	6.800,00
Estudios técnicos	glb	<b>1,00</b>	<b>8.500,00</b>	8.500,00
				0,00

**TOTAL COSTO DIRECTO**

imprevistos 2%

3.398,60

**TOTAL**

**173.328,38**

En el estudio corporativo detalla que la inversión en el sistema SUDS tiene un impacto global de 3.04 % del costo total estimado del proyecto inmobiliario el cual tendrá una inversión de construcción de 5.7 millones, por lo que se sitúa por debajo del lumbral del 5% recomendado por el Banco Mundial para la incorporación de infraestructura verde en desarrollos residenciales.

### **Beneficios económicos anuales**

**Tabla 23**

*Beneficios económicos anuales*

<b>Concepto</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Valor anual</b>
Ahorro de agua potable (riego)	$(1350 \text{ m}^3 - 337 \text{ m}^3) * 0.85/\text{m}^3$	858,00
Reducción de multas EPMAPS	Probabilidad 15% * 2500,00/evento	375,00
Valorización inmobiliaria	+3% sobre valor comercial (110 viviendas * 85000 dólares)	280.500,00
Bonificación edificabilidad futura	Opción bajo Ordenanza 003/2024	No cuantificable

Para realizar una relación de costo beneficio y un retorno de inversión (ROI) se observa un beneficio neto acumulado en el primer año de 1233,00 dólares, lo que conlleva a un beneficio neto acumulado en tres años de 3700,00 dólares más una valorización de beneficios hasta el momento, dando un periodo de recuperación (ROI) de 189 años, tomando en cuenta únicamente los ahorros operativos, pero se considera un retorno de inversión realista en el cual se incluye la valorización que puede ser <1 año, tomando en cuenta la venta del proyecto.

Realizando un análisis crítico podemos mencionar que aunque el retorno de inversión (ROI) operativo es largo, la inversión en Sistemas SUDS debe evaluarse como costo de cumplimiento regulatorio preventivo, que mejora la visión como activo de marketing diferenciador en un

mercado donde el 68% de compradores prioriza la sostenibilidad (Encuesta DMQ-Habitat, 2025), la cual nos indica que la verdadera rentabilidad radica en evitar externalidades negativas en donde cada 1% de reducción en caudal pico disminuye un 08% el riesgo de demandas por daños de erosión o inundación, Por lo que en conclusión es un factor tan importante como el económico la propuesta no es un gasto, sino una inversión en resiliencia que transforma un pasivo regulatorio como la gestión de escorrentía, en un activo competitivo a través de una certificación verde del proyecto inmobiliario, alineando la rentabilidad empresarial con protección de salud pública y ecosistemas acuáticos en Lumbisí.

#### **Análisis económico financiero VAN y TIR del sistema SUDS en Lumbisí**

Para evaluar la viabilidad financiera del sistema SUDS propuesto, se realizó un análisis de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) bajo dos escenarios metodológicos, considerando las particularidades del proyecto inmobiliario y los beneficios tangibles e intangibles identificados en el estudio

**Tabla 24**

*Parámetros de cálculo*

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Inversión Inicial	USD 173,328,00	Costo total del sistema SUDS (incluye tanque, pavimentos permeables, sistemas de riego y estudios técnicos)
Vida útil del sistema	20 años	Estándar para infraestructura hidráulica en hormigón armado y pavimentos permeables.
Tasa de descuento (r)	8% anual	Tasa de referencia del Banco Central del Ecuador para proyectos de inversión pública/privada con riesgo medio.

Costos O&M anuales	USD 2100,00	1,2% de la inversión inicial (mantenimiento cisterna, limpieza rejillas, revisiones bombas, posa áreas verdes)
Beneficios operativos	USD 1233,00	Ahorro agua potable (USD 858) más reducción de multas (USD 375)
Valor residual (Año 20)	USD 17333,00	10% de la inversión inicial (valor de salvamento de estructuras de hormigón)
Valorización inmobiliaria	USD 280500,00	Beneficio indirecto al momento de la comercialización (Año 2)

### **Análisis financiero estricto con flujo operativos directos**

Para este análisis se considera únicamente ahorros operativos y costos de mantenimiento, sin incluir valorización inmobiliaria.

Flujo anual de USD 1233,00 (beneficios) – USD 2100,00 (O&M) = -USD 867/año

### **Tabla 25**

*Flujo de caja neto anual*

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Factor</b>	<b>del Valor actual</b>
		<b>descuento (8%)</b>	
0	-173328,00	1000,00	-173328,00
1 – 19	-867	9604,00 factor anual	-8327,00
20	16466,00	0,215	3540
Total, VAN			-178115,00

Desde una perspectiva financiera pura, el SUDS no es viable si solo se evalúan los ahorros operativos directos, por lo que el ROI es de 189 años considerando ahorros operativos.

### Análisis con valorización inmobiliaria como beneficio directo.

Incorpora la valorización del 3% sobre el valor comercial del proyecto inmobiliario de USD 280500,00, materializado en el segundo año según el cronograma de comercialización.

**Tabla 26**

*Análisis ampliada con valorización inmobiliaria*

Año	Flujo de caja (USD)	Factor de descuento (8%)	Valor actual (USD)
0	-173328,00	1000,00	-173328,00
1	-867,00	0,926	-803,00
2	279633,00	0,857	239645,00
3 - 19	-867,00	7824,00	-6783,00
20	16466,00	0,215	3540,00
TOTAL, VAN			62271,00

Al incorporar la valorización inmobiliaria como beneficio indirecto el cual será real y cuantificable, el proyecto si es financiamiento viable, con un VAN positivo de USD 62271,00

$$TIR = i_1 + \frac{VAN_1 \times (i_2 - i_1)}{VAN_1 - VAN_2} \quad (13)$$

$$TIR = 0.08 + \frac{62.271 \times (0.15 - 0.08)}{62.271 - (-8.450)}$$

$$TIR = 0.08 + \frac{4,359}{70,721}$$

$$TIR = 0.08 + 0.0616 = 14.16\%$$

TIR: 14,16% anual

## Análisis de sensibilidad

**Tabla 27**

*Análisis de cuantificación de escenario óptimo*

Variable	Escenario pesimista	Escenario base	Escenario óptimo
Valorización inmobiliaria	-1,5% (USD 140250,00)	+3% (USD 280500,00)	+4,5% (USD 420750,00)
VAN	-USD 58952	USD 62271,00	USD 183494,00
TIR	5,1%	14,16%	21,7%

La viabilidad financiera del SUDS depende fundamentalmente de la valorización inmobiliaria, sin este beneficio indirecto, el proyecto no se autofinancia con sus ahorros operativos. El análisis VAN y TIR demuestra que el SUDS no es proyecto de inversión en sentido tradicional, sino un costo de cumplimiento regulatorio preventivo que evita externalidades negativas como multas, demandas por daños y pérdidas de licencias, por lo cual su rentabilidad se materializa en el mercado inmobiliario, no en operaciones ya que le 99.6% del VAN proviene de la valorización del 3% en el valor comercial del proyecto con un costo de USD 280500,00 versus USD1233,00 / año de ahorros operativos. El umbral de viabilidad se alcanza con una valorización mínima del 2.1% sobre el valor comercial. Dado que estudios en el Distrito Metropolitano de Quito del 2025 indican que el 68% de compradores priorizan la sostenibilidad y esta valorización en el proyecto inmobiliario es realista. Se debe evaluar el sistema SUDS no como un proyecto aislado, al contrario se debe contemplar como un componente estratégico del modelo de negocio inmobiliario, donde la sostenibilidad se traduce en diferenciación competitiva y mayor valor en el mercado.

Vamos a realizar un análisis de sensibilidad para detonar el umbral de viabilidad en la cual la condición general es que  $VAN \geq 0$

$$0 = -173328 + \frac{V_i}{(1+0.08)^2} - 8327 + 3540 \quad (14)$$

$$0 = (-173328 + 8237 - 3540) \times (1.08)^2$$

$$0 = 178115 \times 11664 = \text{USD } 207750,00$$

Valorización mínima requerida

$$\%_{min} = \frac{207,750}{9,350,000} * 100 \quad (15)$$

$$\%_{min} = 2.22\%$$

En la cual el proyecto va a tener un costo de USD 9, 350, 000, 00 como valor comercial total del proyecto de (110 vivienda x USD 85, 000 )

### Resumen de resultado financiero

**Tabla 28**

*Resultado financiero*

Indicador	Escenario 1 (operativo)	Escenario 2 (valorizado)
VAN	-178,115,00	+62, 271, 00
TIR	No existe (flujo negativo)	14,16 %
Relación C/B	0.49	1,36
ROI operativo	189 años	< 1 año
Umbral viabilidad	-----	Valorización $\geq$ 2.22%

### Relación Costo - Beneficio

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{(1+r)^t} \text{Beneficios } t}{\sum_{(1+r)^t} \text{Costos } t} \quad (16)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{239,645 + 3,540}{173,328 + 803 + 6,783}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{243,185}{180,914} = 1,36$$

El proyecto con sistemas SUDS no es viable como inversión aislada en un VAN < 0, pero si es viable cuando se lo presive como componente estratégico del modelo de negocio inmobiliario en el que se internaliza la valorización del 3% en el valor comercial con un VAN>0 y un TIR>r, por lo que se evidencia que la inversión de UDS 173, 328, 00 representa el 3,04% del costo total del proyecto y esta por debajo del umbral del 5% recomendado por el Banco Mundial para infraestructura verde, lo que confirma su eficiencia económica como medida de mitigación regulatoria preventiva y diferenciación competitiva en el mercado inmobiliario sostenible del Distrito Metropolitano de Quito.

### Distribución de costos por fase

**Tabla 29**

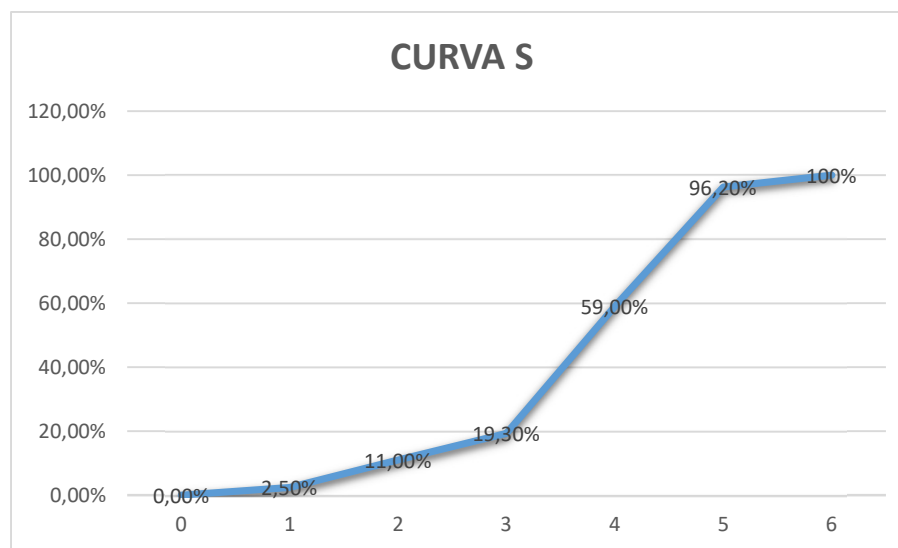
*Costos por fases*

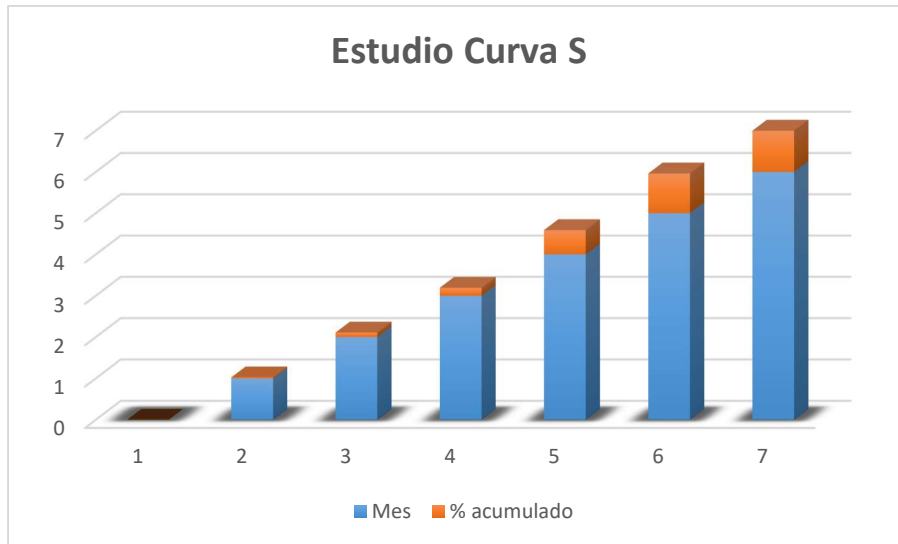
<b>Fase</b>	<b>Actividades clave</b>	<b>Costo UDS</b>	<b>% total</b>	<b>Meses críticos</b>
Diagnóstico hidrológico	Levantamiento topográfico, análisis INAMHI	8,500	4,9%	Mes 1-2
Diseño técnico SUDS	Modelación, planos AutoCAD, diseño estructural	13,900	8,0%	Mes 2-3
Aprobación regulatoria	Presentación EPMAPS, ajustes técnicos	5,200	3,0%	Mes 3-4
Construcción	Excavación tanque, pavimentos permeables, tubería, estructura disipación	129,800	74,9%	Mes 4-5
Puesta en marcha	en Sistema de riego, pruebas hidrostáticas, capacitación	12,500	7,2%	Mes 5-6

Monitoreo post implementación	Análisis SST reportes indicadores	patógenos, 3,428	2,0%	Mes 6
TOTAL		173,328	100%	

### Grafica de la curva S

Mes	Costo mes	% mensual	V acumulado	% acumulado
0	0	0,00%	0	0,00%
1	4250	2,50%	4250	2,50%
2	14900	8,60%	19150	11,00%
3	14300	8,20%	33450	19,30%
4	68800	39,70%	102250	59,00%
5	64500	37,20%	166750	96,20%
6	6578	3,80%	173328	100%





La fase de arranque es lento ya que solo el 11% del presupuesto se ejecuta en los primeros dos meses lo que es correspondiente a estudios técnicos y diagnóstico hidrológico, está pendiente suele ser típica en proyectos de ingeniería que requieren validación previa antes de la construcción. La pendiente máxima con el 76.2% del presupuesto se concentra entre los meses 3 a 5 con un pico en el mes 4 del 39,7% del total, este segmento representa la fase de construcción intensiva como excavación, pavimentos permeables, tubería y todo su proceso en el cual se materializa la mayor parte de la inversión. Y la fase del cierre que se da en el mes 6 en el cual la curva se estabiliza con solo el 3,8% restante el cual está destinado a monitoreo y validación, reflejando la transición de construcción, operación, por lo que se evidencia que la curva presenta una silueta clásica de S con inflexión temprana, pendiente máxima y estabilización.

La curva S permite tener un control de avance al poder comparar el valor ganado contra el valor planificado que permite detectar desviaciones tempranas, la gestión de flujo de caja permite planificar desembolsos financieros alineados con la curva para reservar 68, 800 para el mes 4, también se identifica los cuellos de botella en la que se divisa la pendiente pronunciada en meses 4 y 5 que señala la necesidad de asegurar recursos críticos como mano de obra especializada, materiales y otros que deben ser contratadas con anticipación. Y al final el

Benchmarking que permite comparar contra curvas S de proyectos similares para validar la distribución temporal de costos.

Para mantener el proyecto estabilizado dentro de la curva S planificada se debe mantener los Meses 1 y 2 la priorización de la aprobación regulatoria anticipada para evitar retrasos en la fase constructiva, el mes 3 se debe asegurar la disponibilidad de adoquines permeables y tuberías corrugadas como insumos críticos con tiempos de entrega prologados, el mes 4 se debe implementar turnos extendidos en excavación para absorber el 39,7% del presupuesto sin sobrepasar el cronograma, el mes 6 se debe programar muestreos de SST de patógenos durante eventos lluviosos reales para validar el modelo hidrológico, esta curva constituye la línea base para el control integrado de tiempo, costo y calidad del proyecto SUDS en Lumbisí, permitiendo una gestión proactiva frente a desviaciones durante la ejecución.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones:

- La investigación logró diseñar exitosamente un modelo operativo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para un proyecto residencial de 110 unidades de vivienda ubicado en Lumbisí, demostrando que la escorrentía pluvial puede transformarse de riesgo ambiental en un recurso estratégico mediante soluciones técnicamente viables y económicamente accesibles. El sistema que está compuesto por un tanque de retención de 89,31 m<sup>3</sup> apoyado por pavimentos permeables y biofiltración, este sistema permite utilizar 1850,00 m<sup>3</sup> anuales para poder realizar el riego de 3566,00 m<sup>2</sup> de áreas verdes, esto permite alcanzar un índice de auto eficiencia hídrica del 137% t reduciendo a su vez en un 75% el consumo de agua potable, esto evidencia que la infraestructura verde no es un lujo, sino una necesidad técnica para las zonas de recarga hídrica crítica.
- El diagnóstico mediante la utilización de la matriz de Conesa a los casos de estudio evidenció la criticidad que presenta la gestión inadecuada de escorrentía ya que la descarga directa de aguas pluviales incrementa el riesgo de inundaciones recurrentes por el colapso de sistemas combinados adicionalmente se evidencia que se presenta un 40% el riesgo de erosión en la quebrada receptora y moviliza sedimentos con carga patógena y el proceso fallido que tiene la no reutilización de aguas pluviales, constituyendo una amenaza ambiental y sanitaria por los componentes interconectados de un sistema de vulnerabilidad para una extensa población del sector lo que exige realizar una gestión integral.
- Por otro lado, la caracterización hidrológica, basada en datos calibrados y proporcionados por la estación “La Tola” de INAMHI, permitió dimensionar con precisión el coeficiente de escorrentía post – desarrollo ( $C_p = 0,64$ ), superando la aplicación genérica de estándares internacionales sin adaptación local, por lo que se

determinó que la extensión de urbanización incrementa el coeficiente de escorrentía de 0.37 en pre desarrollo a un 0.80 en un escenario convencional de impermeabilización, lo que genera un caudal pico de 202 L/s para un tiempo de retorno de 10 años. Esta cuantificación local constituye un aporte metodológico replicable para otros sectores del Distrito Metropolitano de Quito.

- La implementación del presente modelo operativo y el diseño integral propuesto logra reducir el caudal pico en un 20.3% y una disminución del volumen neto descargado a la quebrada en un 34.2%, superando el mínimo regulatorio del 30% exigido por la Ordenanza Metropolitana “Verde-Azul” (Quito, 2024), garantiza que la entrega de sólidos suspendidos totales se disminuye en un 78% superando los mínimos regulatorios de la Ordenanza “Verde-Azul” la cual estipula que se debe obtener una reducción de 30%. La innovación radica en articular cuatro pilares independientes: (I) la separación hidráulica pluvial de la sanitaria, (II) retención activa con tratamiento in situ, (III) la reutilización productiva para riego y (IV) entrega controlada mediante un dissipador de energía y bioingeniería, garantizando la protección de la conectividad ecológica de la quebrada receptora. El estudio aporta un protocolo replicable para el Distrito Metropolitano de Quito mediante la integración del modelo EPMAPS 2024 para cálculos de volúmenes de retención con el análisis de EMCs de sólidos suspendidos que permite dimensionar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) con base en evidencia local, superando la brecha identificada por EPMAPS 2025 en el cual el 68% de proyectos incumplen estándares por diseños genéricos. No obstante, se reconoce como limitación la ausencia de monitoreo in situ de escorrentía, convirtiéndose en un aspecto que se valida en la fase post construcción con inconvenientes de inundación o malestar. En síntesis, esta investigación demuestra que el crecimiento urbano y la protección de ecosistemas acuáticos no son excluyentes ya que mediante los Sistemas

Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) contextualizados, cada metro cuadrado urbanizado puede convertirse en una pieza activa de infraestructura verde que regenera, en lugar de degradar el ciclo hidrológico natural, el modelo propuesto no solo cumple con la normativa vigente, ya que anticipa desafíos del cambio climático en los Andes ecuatorianos, posicionando a Lumbisí como un recinto de urbanismo sostenible para el Distrito Metropolitano de Quito.

## **Recomendaciones:**

- Es necesario implementar un protocolo de monitoreo post construcción de sedimentos y patógenos en el tanque de retención lo cual se vuelve obligatorio con el objetivo de implementar un plan de vigilancia hidrológica durante los primeros 24 meses de operación, con mediciones trimestrales del caudal pico, mediante muestreos de sólidos suspendidos totales (SST) y patógenos que se encuentran en la escorrentía, utilizando protocolos estandarizados del INAMHI. Los datos deben publicarse en plataformas abiertas del Distrito Metropolitano de Quito para una buena transparencia regulatoria.
- Adicionalmente se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo estructurado para el sistema SUDS con frecuencia estacional estableciendo cronogramas de limpieza del tanque cada seis meses en el cual se cumpla con una limpieza de rejillas y sedimentadores, la remoción de sedimentos acumulados y una revisión anual de los pavimentos permeables mediante pruebas de infiltración in situ con una previa capacitación del personal de mantenimiento del conjunto residencial, garantizando la eficiencia hidráulica a largo plazo.
- Realizar una evaluación de servicios eco sistemáticos con el fin de cuantificar el impacto acumulado de múltiples proyectos que incorporen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la cuenca de Lumbisí, analizando su contribución a la reducción de riesgos de inundación a escala de microcuenca. Se debe analizar la huella de carbono evitada mediante la reducción de bombeo de agua potable para riego, integrando el ciclo de vida del sistema SUDS en certificaciones ambientales como LEED o EDGE.

## Referencias

- (EPA), A. d. (2022). *Gestión del clima húmedo con infraestructura verde*. Naciones Unidas: Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
- 2033, . M. (2025). Quito, Ecuador. *Municipio de Quito*. Obtenido de <https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/2025/11/PMGIRD-2025-2033.pdf>.
- Ashbolt, N. J. (2015). Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Current Environmental Health Reports*, 95-106.
- Butler, D. &. (2011). Urban Drainage (3rd ed). Spon Press. *Butler, D & Davies, J.W.*, 4-14.
- Chocat, B. A. (2007). Toward sustainable urban drainage. *Water Science and Technology* 55(4), 11-18.
- Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. *McGraw-Hill*, 8-12.
- CLIA., C. d. (2015). *Informe 1: Estudio de los antecedentes e información de las tecnologías y/o tipologías de SUDS existentes. En investigación de las tipologías de sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D. C.* Bogotá: Universidad de los Andes.
- Conesa Fernández - Vitora, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. *Ediciones Mundi-Pensa (3a ed.)*.
- Ecuador, C. C. (2022). *Sentencia N 2167-21-EP/22*. Quito: Corte Constitucional de Ecuador.
- Ecuador, M. d. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Libro VI: Gestión de la Calidad Ambiental. *Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental para el Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N 097-A. Registro Oficial Suplemento 417., 09/TEXTO\_UNIFICADO\_LEGISLACION\_SECUNDARIA\_i.pdf*. Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018>

- Feng, Y. (2020). Alerta de riesgo de inundaciones urbanas en condiciones de rápida urbanización. *Environmental Research*, 185.
- Fletcher BR, D. S.-G. (2022). Symptom burden and health-related quality of life in chronic kidney disease: A global systematic review and meta-analysis. *PLoS Med.*, 6-19.
- Fletcher, S. H. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD y más: la evolución y aplicación de la terminología relacionada con el drenaje urbano. *Urban Water J.*, 526-537.
- Fletcher, T. D. (2023). Sustainable urban drainage systems in the Global South; Challenges and opportunities. *Nature Water.*, 112-122.
- Garriga, C. (2021). La escorrentía urbana, gran reto del saneamiento. *Carlos Garriga-We Are Water Foundation*, 6.
- INAMHI. (2022). informe hidrológico anual del Distrito Metropolitano de Quito. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. *Intergovernmental Panel on CLimate Change*.
- IPCC, H. L. (2023). IPCC. *Cambio climático, Informe de síntesis, contribución de los grupos de trabajo I, II, III al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 35-115.
- Li, Y. e. (2022). Pathogen transport in urban stormwater: The role of sedimento particle size and organic matter. *Water Research*, 210, 117985.
- Maidment, D. (1993). Manual de hidrología. *McGraw-Hill, Nueva York*, 4-8.
- Novotny, V. (2003). Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management. *John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.*, 2-8.
- OMS. (2023). Guidelines on sanitation and health: Stormwater management in urban settings. *World Health Organization*.

ONU-Habitat. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza para resiliencia urbana en la era del cambio climático*. Naciones Unidas: ONU-Habitat.

Quito, D. M. (2024). Ordenanza Metropolitana N. 003: Gestión Sostenible de Recursos Hídricos en Desarrollos Urbanos. *Registro Oficial Suplemento 987*.

WHO. (2023). Guidelines on sanitation and Health (2nd ed.). *World Health Organization*.

Zhang, K. e. (2021). Urbanization-induced changes in rainfall-runoff dynamics and sediment yield in steep terrain. *Journal of Hydrology*,, 603, 126876.

# ANEXOS

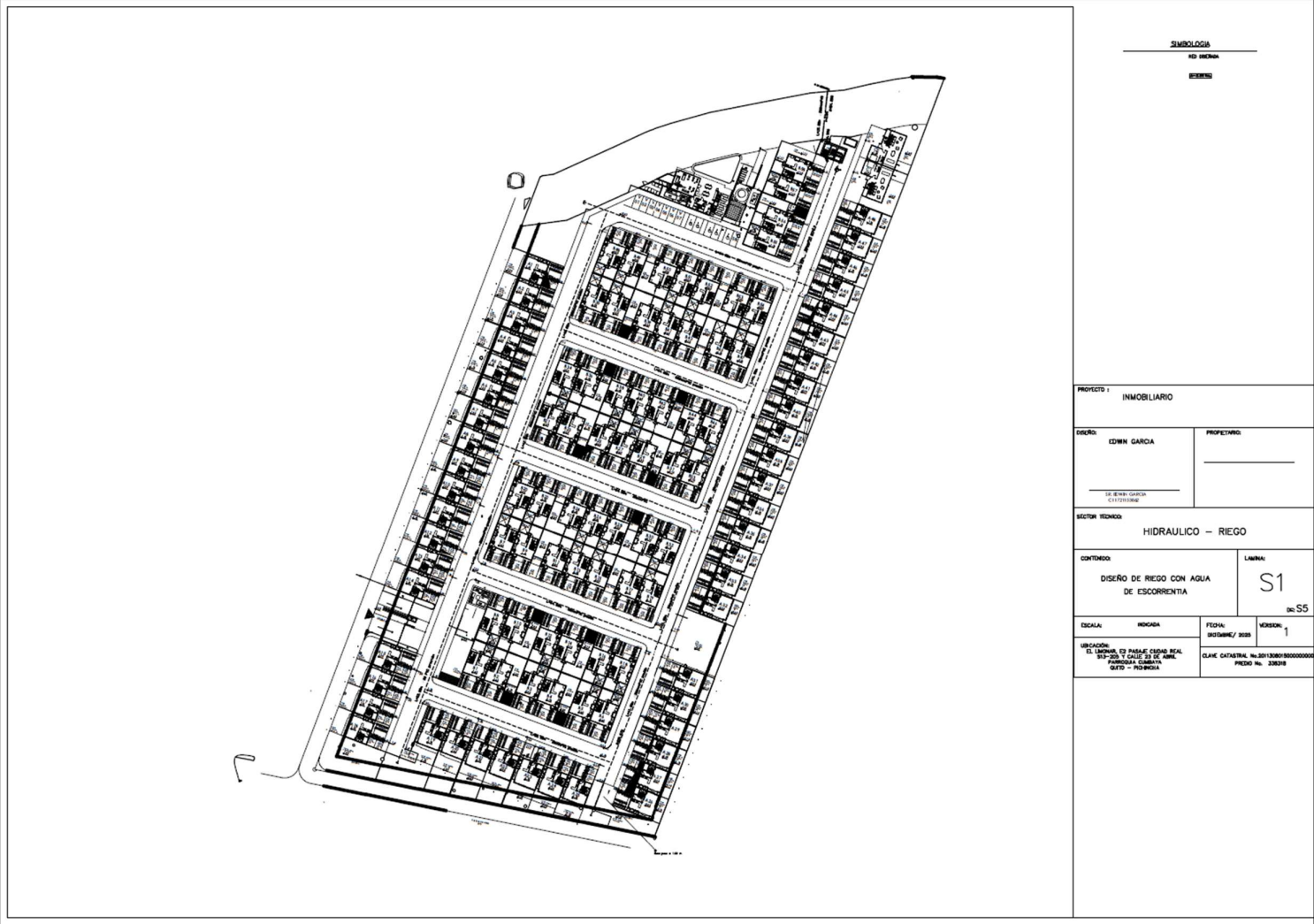
Anexo  
Proceso de certificación EDGE y LEED

1



**Anexo 2**

*Planos de sistema de riego propuesto en proyecto*





## Anexo 4

*Aprobación de abstract departamento de idiomas*

### FACULTY OF ENGINEERING

#### Industrial Engineering

**AUTHOR:** GARCIA GUAMAN EDWIN ROSENDO

**TUTOR:** RON VALENZUELA PABLO ELICIO

#### THEME

DESIGN PROPOSAL FOR IMPROVING RAINWATER RUNOFF IN A REAL ESTATE PROJECT

#### ABSTRACT

This degree study addresses the critical problem caused by rainwater runoff in the Lumbisí sector of Quito, where accelerated urban growth has significantly increased impervious surfaces, thereby disrupting the natural hydrological cycle and generating adverse environmental, health, and infrastructure impacts. In response to this scenario, a comprehensive operational model of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) was developed for a real estate project, based on four interdependent components: hydro-territorial characterization using pluviometric data from the INAMHI "La Tola"; green infrastructure design; quantification of the biological risk posed by total suspended solids; and a rainwater reuse system with an 89.31 m<sup>3</sup> retention tank for irrigating 3,566 m<sup>2</sup> of green areas, which will reduce the peak flow from 202 to 161 L/ s, decreasing the discharge volume to the receiving stream by 34.2%, removing 78% of suspended solids, and reducing the pathogen load by 99%, achieving an annual self-efficiency index of 137% through the reuse of rainwater for irrigation. This model establishes a replicable standard for future projects, demonstrating both technical sustainability and strategic profitability.

**KEYWORDS:** Keywords: green infrastructure, health risk, stormwater runoff, SUDS, sustainable drainage, water management, water reuse.

